

BEST AVAILABLE COPY**Process for enriching a first gaseous or liquid medium with a second gas or a second liquid and a reactor for carrying out the process****Publication number:** DE4308697**Publication date:** 1994-09-22**Inventor:** DURST FRANZ PROF DR DR (DE); BISCHOF FRANZ DIPL ING (DE); HOEFKEN MARCUS DIPL ING (DE)**Applicant:** DURST FRANZ PROF DR DR H C (DE); BISCHOF FRANZ DIPL ING (DE); HOEFKEN MARCUS DIPL ING (DE)**Classification:**

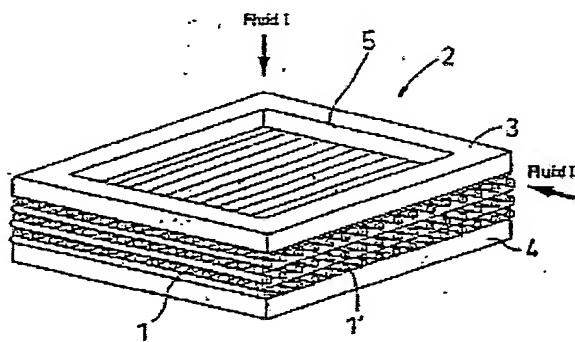
- **international:** B01D53/22; B01D63/02; B01D63/04; B01F5/04; B01J4/04; B01J10/00; B01J12/00; B01J14/00; B01J19/00; B01J19/24; B01D53/22; B01D63/02; B01D63/04; B01F5/04; B01J4/00; B01J10/00; B01J12/00; B01J14/00; B01J19/00; B01J19/24; (IPC1-7): B01D63/02; B01D53/22; B01D61/00; B01F3/02; B01F3/04; B01F3/08; B01J10/00

- **European:** B01D53/22D4B; B01D63/02; B01D63/04B; B01F5/04C13; B01J4/04; B01J10/00; B01J12/00; B01J14/00; B01J19/00R; B01J19/24P

Application number: DE19934308697 19930318**Priority number(s):** DE19934308697 19930318**Report a data error here****Abstract of DE4308697**

A process for enriching a first gaseous or liquid medium with a second gas or a second liquid uses hollow capillary fibres which lie essentially perpendicularly to the flow axis of the gaseous or liquid medium. In this process the second gas or the second liquid is admitted into the hollow capillary fibres and it mixes with the second gas or the second liquid as a result of gradients in physical or chemical parameters, in particular pressure, temperature or concentration differences.

Appropriate membrane elements having hollow capillary fibres perpendicular to the flow direction for a first gaseous or liquid medium can be installed in a reactor, the membrane elements being connected together in a cascade manner with respect to flow, so that some of the second gas or the second liquid which is not absorbed by the first gaseous or liquid medium is again brought into contact with the first gaseous or liquid medium. This makes possible a particularly effective charging of a gaseous or liquid medium with a second gas or a second liquid.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide



(21) Aktenzeichen: P 43 08 697.7
(22) Anmeldetag: 18. 3. 93
(43) Offenlegungstag: 22. 9. 94

(71) Anmelder:
Durst, Franz, Prof. Dr. Dr.h.c., 91094
Langensendelbach, DE; Bischof, Franz, Dipl.-Ing.,
90489 Nürnberg, DE; Höfken, Marcus, Dipl.-Ing.,
91054 Erlangen, DE

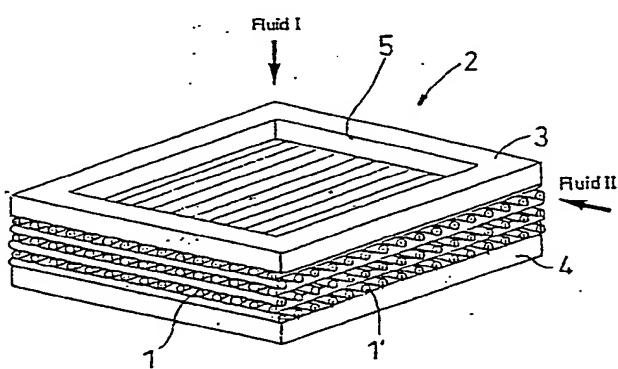
(74) Vertreter:
Geyer, W., Dipl.-Ing. Dr.-Ing.; Fehners, K., Dipl.-Ing.
Dipl.-Wirtsch.-Ing., Pat.-Anwälte, 80687 München

(72) Erfinder:
gleich Anmelder

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

(54) Verfahren zur Anreicherung eines ersten gasförmigen oder flüssigen Mediums mit einem zweiten Gas oder einer zweiten Flüssigkeit sowie ein Reaktor zur Durchführung des Verfahrens

(57) Ein Verfahren zur Anreicherung eines ersten gasförmigen oder flüssigen Mediums mit einem zweiten Gas oder einer zweiten Flüssigkeit verwendet Kapillar-Hohlfasern, die im wesentlichen senkrecht zur Strömungssachse des gasförmigen oder flüssigen Mediums liegen. Dabei wird das zweite Gas oder die zweite Flüssigkeit in die Kapillar-Hohlfasern eingelassen und mischt sich mit dem zweiten Gas oder der zweiten Flüssigkeit aufgrund von Gradienten in physikalischen oder chemischen Parametern, insbesondere Druck-, Temperatur- oder Konzentrationsdifferenzen. Entsprechende Membranelemente mit Kapillar-Hohlfasern senkrecht zur Durchströmrichtung für ein erstes gasförmiges oder flüssiges Medium können in einem Reaktor eingebaut werden, wobei sie bezüglich der Strömung kaskadenartig miteinander verbunden werden, so daß ein Teil des zweiten Gases oder der zweiten Flüssigkeit, der nicht von dem ersten gasförmigen oder flüssigen Medium aufgenommen wurde, wieder in Kontakt mit dem ersten gasförmigen oder flüssigen Medium gebracht wird. Dies ermöglicht ein besonders effektives Beladen eines gasförmigen oder flüssigen Mediums mit einem zweiten Gas oder einer zweiten Flüssigkeit.



Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Anreichern eines ersten gasförmigen oder flüssigen Mediums mit einem zweiten Gas oder einer Flüssigkeit in einem Reaktor, wobei das erste gasförmige oder flüssige Medium längs einer Strömungsachse des Reaktors strömt oder fließt oder im Chargenbetrieb vorgelegt ist. Darüber hinaus umfaßt die Erfindung Reaktoren zur Durchführung des Verfahrens, wie auch die Anwendung der Reaktoren zum Trennen von Gasen und Flüssigkeiten.

Aus der US-PS 4 959 152 ist eine Trennung von Gasen oder Flüssigkeiten mit Hilfe von Kapillar-Hohlfasern bekannt, bei dem eine Gaskomponente eines ersten gasförmigen oder flüssigen Mediums wegen der mikroporösen Struktur der Faserwände der Kapillar-Hohlfasern aufgrund von Gradienten, beispielsweise in der Konzentration und im Druck, in die Kapillar-Hohlfasern eintritt und aus diesen herausgeführt werden kann. Nach der im Stand der Technik gegebenen Lehre kann diese Technik nur zur Trennung von Flüssigkeiten bzw. Gasen benutzt werden.

Das Beladen eines gasförmigen oder flüssigen Mediums mit einem zweiten Gas, also das Zusammenführen verschiedener Stoffe mit dem Ziel einer Stoffvereinigung, stellt einen der wichtigsten Verfahrensschritte innerhalb der chemisch-biotechnologischen und deren artverwandten Industrien dar. Ein derartiges Zusammenführen verschiedener Stoffe wird beispielsweise durchgeführt, um eine Reaktion zwischen verschiedenen Ausgangsstoffen zu erhalten, damit ein höherwertiges Produkt erzeugt wird. Es kann sich bei solchen Prozessen um rein physikalische Absorptionsprozesse handeln, um beispielsweise eine Flüssigkeit mit einer bestimmten Gaskomponente zu beladen oder aber einen dem Gasstrom anhaftenden Feststoff in einer Flüssigkeit zu lösen (Gaswäsche).

Zum Stoffaustausch wird im allgemeinen ein Reaktor benutzt, der entsprechend der gewünschten Reaktionsgeschwindigkeiten, der physikalischen Löslichkeiten, der Stoffeigenschaften, der erforderlichen Drücke und benötigten Temperaturen ausgelegt wird. Dabei liegt der Schwerpunkt der Gestaltung und Dimensionierung darin, den Kontakt zwischen den beteiligten Komponenten innerhalb des Reaktors möglichst großflächig zu gestalten. Um dies zu erreichen, geht man im allgemeinen die folgenden Wege:

- 1) Eine der vorliegenden Phasen, beispielsweise die Gasphase bei Gas/Flüssigreaktionen, wird möglichst feindispers durch viele Düsen in den mit Flüssigkeit gefüllten Reaktor eingebracht.
- 2) Die Flüssigkeit wird als sehr dünner Film oder Tropfen einer Gaskomponente entgegengeführt.
- 3) Eine der Phasen wird mit Hilfe von Einstoff- oder Mehrstoffdüsen mit sehr hoher Geschwindigkeit in den Reaktor eingetragen. Aufgrund eines selbständigen oder gezielt beeinflußten Strahlzerfalls wird diese Phase fein dispergiert.

Zur Durchführung der Verfahren wird üblicherweise ein Rohrreaktor benutzt, durch welchen das zu beladene gasförmige oder flüssige Medium hindurchfließt. Das zweite Gas bzw. die zweite Flüssigkeit, welches bzw. welche mit dem gasförmigen oder flüssigen Medium zusammengeführt werden soll, kann im Gleichstrom oder im Gegenstrom in den Rohrreaktor geführt werden, um eine höhere Konzentrationsdifferenz zwischen

den verschiedenen Phasen zu erzielen.

Eine weitere Möglichkeit zur Verbesserung der Mischung besteht darin, das gasförmige oder flüssige Medium mit dem zweiten Gas oder der zweiten Flüssigkeit in einem Rührkessel zusammenzuführen, in dem eine hohe Turbulenz erzeugt wird, um die Phasengrenze ständig zu erneuern und somit den Stoffaustausch zu intensivieren.

Nachteilig bei diesen Verfahren ist der üblicherweise benötigte hohe Energieaufwand zur Stoffvereinigung. Außerdem enthalten solche Rührkessel mechanisch bewegliche Einbauten, die einen hohen Investitions- und Wartungsaufwand erfordern.

Zur Vermeidung dieser Nachteile werden bei Gas/Flüssigreaktionen in der angewandten Technik sehr häufig Blasensäulen in den verschiedensten Ausführungen verwendet. Dabei wird allgemein ein Behälter mit Flüssigkeit durchströmt. Zu dieser Flüssigkeit wird die Gasphase in der Regel über starre oder elastische Düsenysteme zugeführt. Dies bedeutet, daß als Begassungsfläche im wesentlichen nur der Behälterquerschnitt am Reaktorboden zur Verfügung steht. Um eine große Phasengrenzfläche und ein effektives Mischen zu erreichen, wird daher der Gasstrom in möglichst feine Gasblasen durch entsprechende Düsenysteme zerlegt, wodurch ein hoher Anteil der Gasphase mit maximaler Stoffaustauschfläche innerhalb des Reaktors erreicht wird. Als Begassungskörper werden beispielsweise Lochplatten, poröse Keramiken oder perforierte Elastomere in den verschiedensten Ausführungen verwendet.

Nachteilig bei diesen Gaszufuhrsystemen ist, daß sie nur in kontinuierlich betriebenen Reaktoren eingesetzt werden können, da ein Abstellen des Gasstroms ein Eintreten der Flüssigkeit in den Begassungskörper zur Folge haben könnte.

Ein weiterer Nachteil bei Reaktoren nach dem Stand der Technik ergibt sich aufgrund der Tatsache, daß die anfangs durch den Begassungskörper produzierte Blasengröße innerhalb des Reaktors starken Blasenkoalenzzenen unterworfen ist, wobei sich eine Gleichgewichtsblasengröße einstellt, so daß der Wirkungsgrad durch eine Verkleinerung der Poren eines Begassungskörpers nicht beliebig verbessert werden kann. Ein höherer Umsatz kann hier nur über entsprechende Reaktordimensionierung, beispielsweise durch Wahl einer größeren Grundfläche, erfolgen.

Aufgabe der Erfindung ist es nun, ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Anreichern eines ersten gasförmigen oder flüssigen Mediums in einem zweiten Gas oder einer zweiten Flüssigkeit zu schaffen, bei dem eine wesentlich größere Fläche für den Stoffaustausch zur Verfügung steht, als es bei Systemen nach dem Stand der Technik, beispielsweise mit Begassungskörpern, möglich ist.

Die auf das Verfahren der eingangs genannten Art gerichtete Aufgabe wird dadurch gelöst, daß das zweite Gas oder die Flüssigkeit durch im wesentlichen senkrecht zur Strömungsachse angeordnete und Wände mit einer mikroporösen Struktur aufweisende Kapillar-Hohlfasern durch das erste gasförmige oder flüssige Medium geführt wird, wobei das zweite Gas oder die zweite Flüssigkeit aufgrund von Gradienten in physikalischen oder chemischen Parametern, insbesondere Druck-, Temperatur- und/oder Konzentrationsdifferenzen, wegen der mikroporösen Struktur der Faserwände in das erste gasförmige oder flüssige Medium eintreten kann.

Die Erfindung ist aber nicht auf Kapillar-Hohlfasern begrenzt, statt Kapillar-Hohlfasern können auch Röhrchen und/oder elastische Schläuche geringen Durchmessers genommen werden, die maschinell perforiert sind und die Funktion der Kapillar-Hohlfasern übernehmen. Derartige Röhrchen oder Schläuche sind den Kapillar-Hohlfasern äquivalent. Wenn sie weiter unten in der Beschreibung und/oder in den Ansprüchen genannt sind, sind Röhrchen oder elastische Schläuche der vorgeschriebenen Art immer mitgemeint.

Erfnungsgemäß werden die Kapillar-Hohlfasern mit dem zweiten Gas oder der zweiten Flüssigkeit beaufschlagt und dieses oder diese tritt über die Oberfläche der Faserwände durch die Poren der Faserwände mit dem ersten gasförmigen oder flüssigen Medium in Kontakt. Die Kapillar-Hohlfasern werden im wesentlichen senkrecht zur Strömungsrichtung angeordnet, so daß Moleküle des ersten gasförmigen oder flüssigen Mediums von den Kapillar-Hohlfasern in ihrer Bewegung gehemmt werden. Durch die entsprechend lange Verweilzeit des ersten gasförmigen oder flüssigen Mediums an den Kapillar-Hohlfasern wird die Wechselwirkung intensiviert. Weiter entstehen an der Faser aufgrund des anströmenden ersten gasförmigen oder flüssigen Mediums turbulenzähnliche Fluidbewegungen, die die Bläschen oder Tropfen des zweiten Gases oder der zweiten Flüssigkeit effektiv mit ersten gasförmigen oder flüssigen Medium mischt (Überschreiten des Bubble-Points der eingesetzten Kapillar-Hohlfasern). Eine senkrecht zur Durchströmrichtung liegende Kapillar-Hohlfaser kann prinzipiell an beiden Enden mit einem zweitem Gas oder einer zweiten Flüssigkeit beaufschlagt werden kann, da eine bevorzugte Anströmrichtung für das zweite Gas oder die zweite Flüssigkeit nicht gegeben ist.

Je nach Druck auf die Faserwand der Kapillar-Hohlfaser tritt das zweite Gas oder die zweite Flüssigkeit oder die gewünschte Gaskomponente oder Flüssigkeitskomponente bei Verwendung gasselektiver Hohlfasern blasenfrei oder in Form sehr kleiner Gasblasen in das die Faser umgebende gasförmige oder flüssige Medium ein. Schon bei geringem Druck werden sich Blasen an der Oberfläche der Kapillar-Hohlfasern bilden, die von dem anströmenden ersten gasförmigen oder flüssigen Medium abgeschert werden können, wobei sich eine besonders gute Mischung ergibt. Ein Teil der Energie zur Überführung des zweiten Gases oder der zweiten Flüssigkeit in das erste gasförmige oder flüssige Medium wird also der Bewegungsenergie entnommen. Bei dieser Art der Mischung ist deshalb aus energetischen Betrachtungen zu erwarten, daß die für das Eintreten des zweiten Gases oder der zweiten Flüssigkeit in das erste gasförmige oder flüssige Medium erforderlichen Gradienten wesentlich geringer sind, als es im umgekehrten Fall, wie bei der US-PS 4 959 152, zur Trennung von Stoffen nötig ist, denn es kommt hier ein wesentlich anderer Mechanismus zur Anwendung. Das unterscheidet die erfungsgemäß Zusammenführung von Stoffen von der aus dem Stand der Technik bekannten Stofftrennung grundsätzlich.

Verwendbare Kapillar-Hohlfasern sind aus dem Stand der Technik bekannt. Beispielsweise beschreibt die US-PS 4 970 034 die Herstellung isotroper mikroporöser Polysulfone mit Hilfe einer Naßspinntechnik. Eine Schmelzspinntechnik zur Herstellung von Kapillar-Hohlfasern ist beispielsweise in der US-PS 4 956 237 beschrieben. Statt der genannten Kapillar-Hohlfasern können auch, wie bereits oben erwähnt, Röhrchen und

elastische Schläuche verwendet werden, die einen gerin- gen Durchmesser aufweisen und maschinell perforiert sind.

Das erfungsgemäß Verfahren ist vor allem des-
5 wegen vorteilhaft, weil die Phasengrenzen zwischen zweitem Gas bzw. der zweiten Flüssigkeit und dem ersten gasförmigen oder flüssigen Medium nicht durch die Eigenschaften, wie z. B. die Oberflächenspannung be-
10 dingt sind, sondern durch die Ausgestaltung der Kapillar-Hohlfasern. Durch den üblicherweise geringen Durchmesser von Kapillar-Hohlfasern entsteht ein sehr günstiges Volumen-/Oberflächenverhältnis, das bei ei-
15 nem Verfahren nach dem Stand der Technik nicht erreichbar ist. Dadurch wird die Wechselwirkung zwi-
20 schen dem zweiten Gas oder der zweiten Flüssigkeit mit dem ersten gasförmigen oder flüssigen Medium intensi-
25 viert und große Mengen der zweiten Flüssigkeit oder des zweiten Gases können leicht in das erste gasförmige oder flüssige Medium gemischt werden.

Ein weiterer Vorteil ist dadurch gegeben, daß, wie oben beschrieben, ein Teil der Energie zur Überführung der zweiten Flüssigkeit oder des zweiten Gases, aus der Bewegungsenergie des ersten gasförmigen oder flüssigen Mediums entnommen werden kann, so daß zur Überführung nur kleine Druck-, Temperatur- und/oder Konzentrationsdifferenzen nötig sind.

Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung des Verfahrens wird das zweite Gas oder die zweite Flüssigkeit in verschiedenen Richtungen und Ebenen zur und entlang 30 der Strömungsachse des Reaktors durch das erste gasförmige oder flüssige Medium geleitet.

Die verschiedenen Richtungen beziehen sich sowohl auf verschiedene Richtungen senkrecht zur Strömungs-
35 achse, als auch darauf, daß das/die aus den Kapillar-Hohlfasern austretende zweite Gas oder zweite Flüssigkeit einer Ebene in einer anderen Ebene anderen Kapillar-Hohlfasern zugeführt wird, um für dasselbe zweite Gas oder die zweite Flüssigkeit eine weitere Wechselwirkung mit dem gasförmigen oder flüssigen Medium zu ermöglichen.

Die Leitung des zweiten Gas oder der zweiten Flüs-
40 sigkeit in verschiedene Richtungen senkrecht zur Strö-
mungsachse hat den Vorteil gegenüber einer Führung des Gases in nur einer Richtung, daß alle Richtungskom-
45 ponenten der durch das Anströmen des ersten gasförmigen oder flüssigen Mediums erzeugten turbulenzähnli-
chen Fluidbewegung ausgenutzt werden, um mit einer weiteren Kapillar-Hohlfaser wechselzuwirken. Das führt zu einer Intensivierung der Mischung.

Wenn das zweite Gas oder die zweite Flüssigkeit, das bzw. die aus einer Kapillar-Hohlfaser ausströmt, wieder durch eine andere Kapillar-Hohlfaser in den Reaktor zurückgeführt wird, wird ebenfalls die Wechselwirkungswahrscheinlichkeit für das zweite Gas oder die zweite Flüssigkeit mit dem ersten gasförmigen oder flüssigen Medium verbessert. Es wird aber auch der Anteil des zweiten Gases oder der zweiten Flüssigkeit, der den Reaktor wieder verläßt, vermindert. Letztes hat vor allen Dingen den Vorteil, daß der Aufwand zur Rückführung des Anteils des zweiten Gases oder der zweiten Flüssigkeit, welches oder welche nicht mit dem gasförmigen oder flüssigen Medium vermischt worden ist, geringer wird. Dies ist von besonderem Vorteil, wenn das zweite Gas oder die zweite Flüssigkeit toxisch ist und besondere Schutzvorkehrungen getroffen werden müssen.

Bei weiteren bevorzugten Weiterbildungen wird das zweite Gas oder die zweite Flüssigkeit gegenüber dem

ersten gasförmigen oder flüssigen Medium im Gleichstrom oder Gegenstrom durch den Reaktor geführt.

Dabei wird das zweite Gas oder die zweite Flüssigkeit, welches bzw. welche in einer ersten Ebene senkrecht zur Strömungssachse mit dem gasförmigen oder flüssigen Medium in Verbindung steht, nach Austritt aus dieser Ebene einer nachfolgenden Ebene wieder zugeführt. Bei einer derartigen Ausgestaltung fließt das zweite Gas oder die zweite Flüssigkeit relativ zu dem ersten gasförmigen oder flüssigen Medium im Gegenstrom oder im Gleichstrom. Der Gleichstrombetrieb hat den Vorteil, daß Druckgradienten zwischen dem ersten gasförmigen oder flüssigen Medium und dem zweiten Gas oder der zweiten Flüssigkeit sich wenig über die ganze Reaktorlänge ändern, während im Gegenstrombetrieb die Konzentrationsgradienten gegenüber der Reaktorlänge im wesentlichen gleich bleiben. Je nach den die Mischung bestimmenden Parametern kann gemäß dieser Ausgestaltung die optimale Wahl getroffen werden.

Bei einem anderen bevorzugten Verfahren steht das zweite Gas oder die zweite Flüssigkeit in den Kapillar-Hohlfasern mit verschwindender Strömungsgeschwindigkeit an. Diese Art des Verfahrens ist besonders dann vorteilhaft, — wenn von dem zweiten Gas oder der zweiten Flüssigkeit nur wenig in dem ersten gasförmigen oder flüssigen Medium aufgenommen werden soll. Dann kann man das zweite Gas oder die zweite Flüssigkeit unter Druck in die Kapillar-Hohlfasern einlassen. Eine Strömung wird dann nicht gebraucht, was vor allen Dingen den Aufwand für einen gleichmäßigen Einlaß und die Entsorgung von ausströmendem Gas verringert.

Gemäß einer anderen vorzugsweisen Weiterbildung der obengenannten Verfahren wird der Druck des zweiten Gases oder der zweiten Flüssigkeit unterhalb des Blasenentstehungsdruck gehalten.

Dies ist dadurch möglich, weil wie weiter oben beschrieben, nur ein Teil der Energie zur Mischung aus dem zweiten Gas oder der zweiten Flüssigkeit entnommen werden muß, da ja das Verfahren so geführt werden kann, daß das zweite Gas oder die zweite Flüssigkeit von dem ersten gasförmigen oder flüssigen Medium abgesichert oder herausgesaugt werden kann.

Die weiterhin auf die Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens gerichtete Aufgabe wird dadurch gelöst, daß bei einem Reaktor mit einem Ein- und Auslässe für das erste gasförmige oder flüssige Medium und das zweite Gas oder die zweite Flüssigkeit aufweisenden Gehäuse die Kapillar-Hohlfasern in Membranelementen zusammengefaßt sind.

Man könnte zwar die einzelnen Kapillar-Hohlfasern direkt in dem Reaktor anordnen, jedoch wäre dieses ungünstig, da die Kapillar-Hohlfasern bei Änderung des Prozesses, Reinigung oder Wartung im Reaktor schlecht entfernt werden können. Die Anordnung von Kapillar-Hohlfasern in Membranelementen ermöglicht es, diese einzeln aus dem Reaktor zu entnehmen sowie für eine andere Anwendung unterschiedlich wieder einzusetzen.

In vorteilhafter Weiterbildung des Reaktors weisen die Membranelemente mindestens eine von Kapillar-Hohlfasern gebildete Ebene auf, wobei die Kapillar-Hohlfasern annähernd parallel zueinander verlaufen und das Membranelement senkrecht zu dieser Ebene durchströmbar ist.

Aufgrund dieser Ausgestaltung liegen die Membranelemente in der Strömungsrichtung des ersten gasförmigen oder flüssigen Mediums hintereinander. Das ermög-

licht ein leichtes Bestücken des Reaktors. Insbesondere wird dadurch auch in vorteilhafter Weise ermöglicht, daß unterschiedliche Membranelemente in verschiedenen Ebenen angeordnet werden, wodurch auch die Mischungsfähigkeit für unterschiedliche Anwendungen optimiert werden kann.

Gemäß weiterer vorteilhafter Weiterbildung weist das Membranelement mehrere aus Kapillar-Hohlfasern gebildete und nacheinander angeordnete Ebenen auf.

Die Einführung mehrerer Ebenen innerhalb eines Membranelements erhöht weiter die Größe der Oberfläche für eine Wechselwirkung des zweiten Gases oder der zweiten Flüssigkeit mit dem ersten gasförmigen oder flüssigen Medium, indem die Kapillar-Hohlfasern wesentlich dichter angeordnet werden können, als es durch Hintereinanderschichtung mehrerer Membranelemente möglich wäre. Sind in einem Membranelement zu wenig Fasern angeordnet, beispielsweise, indem nur eine Ebene vorhanden ist, sinkt der Wirkungsgrad für das Beladen des ersten gasförmigen oder flüssigen Mediums mit dem zweiten Gas oder der zweiten Flüssigkeit, sind dagegen viele Ebenen angeordnet, entstehen turbulenzartige Fluidbewegungen, die einem Weiterfließen des ersten gasförmigen oder flüssigen Mediums einen Widerstand entgegensetzen. Untersuchungen haben gezeigt daß Membranelemente mit in mehreren Ebenen angeordneten Kapillar-Hohlfasern für ein Zusammenführen des zweiten Gases oder der zweiten Flüssigkeit mit dem ersten Medium besonders wirksam sind, wenn ein bis fünf Ebenen pro Strömungsrichtung des zweiten Gases oder der zweiten Flüssigkeit innerhalb eines Membranelements vorgesehen sind.

Gemäß einer vorzugsweisen Weiterbildung der Erfindung werden die jeweiligen Ebenen in dem Membranelement zueinander gedreht angeordnet. Aufgrund dieser Maßnahme können alle Richtungskomponenten der durch das Anströmen des gasförmigen oder flüssigen Mediums an einer Ebene erzeugten turbulenzähnlichen Fluidbewegung ausgenutzt werden.

Dadurch entsteht eine besonders gute Mischung der durch die eine Kapillar-Hohlfaser anströmenden Moleküle des gasförmigen oder flüssigen Mediums erzeugten abgelösten Blasen mit dem gasförmigen oder flüssigen Medium. Um möglichst alle Richtungen der Turbulenzen ausnutzen zu können, sollten dann nahezu alle Richtungen in verschiedenen Ebenen berücksichtigt werden.

Gegenüber einer solchen Ausführungsform mit vielen unterschiedlichen Richtungen sieht eine bevorzugte Weiterbildung der Erfindung vor, verschiedene Ebenen in dem Membranelement jeweils zueinander um 90° gedreht anzuordnen.

Mit einer derartigen Anordnung werden praktisch schon alle Richtungen erfaßt, da die die Strömung bestimmenden physikalischen Parameter an jedem Raumpunkt im Reaktor einen Vektor darstellt, der sich in zwei resultierende Komponenten in den Ebenen mit Kapillar-Hohlfasern aufteilen läßt.

Eine besonders vorteilhafte Weiterbildung sieht vor, daß in dem Membranelement die Kapillar-Hohlfasern der einen Ebene mit den dazu senkrecht angeordneten Kapillar-Hohlfasern der benachbarten Ebenen nach Art von Kette und Schuß verwoben sind.

Dies ist besonders vorteilhaft, um die Stabilität zu erhöhen und die Belastung der einzelnen Membranelemente gering zu halten. Bei Membranelementen mit Kapillar-Hohlfasern kann nämlich ein Problem auftreten, weil die einzelnen Kapillar-Hohlfasern in einer Ebene, beispielsweise aufgrund von Wärmeausdehnung,

nicht mehr definiert an einem Ort liegen oder sogar durch die Strömung des ersten gasförmigen oder flüssigen Mediums in Bewegung bzw. Schwingung versetzt werden. Dies stellt erstens eine mechanische Belastung der Kapillar-Hohlfaser dar, zweitens nimmt die Bewegung oder Schwingung auch Energie auf. Beides sind ungünstige Voraussetzungen für den Betrieb eines Reaktors. Deshalb ist es zweckmäßig, die Kapillar-Hohlfasern zu befestigen. Zur Lösung eines ähnlichen Problems sieht z. B. die US-PS 4 959 152 Kleber oder separate Nylonfäden vor. Gemäß der Weiterbildung der Erfindung werden aber zur Verbesserung der Befestigung senkrecht zueinander angeordnete Kapillar-Hohlfasern in Form eines Gewebes, wie es aus der Webtechnik mit Kette und Schuß bekannt ist, miteinander verbunden. Eine derartige Befestigung ist wesentlich günstiger, als die nach dem Stand der Technik bekannte, da sie auch bei hohen Temperaturen hält und man auch auf zusätzliche Stoffe in Klebern oder Zusatzfäden in den Bereichen des gasförmigen oder flüssigen Mediums verzichtet, die sowohl für die Strömungsführung als auch für die Reinheit der Ausgangsstoffe nachteilig sein können.

Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung der Erfindung sind die Kapillar-Hohlfasern einer Ebene gegenüber den in gleicher Richtung verlaufenden Kapillar-Hohlfasern einer anderen Ebene gegeneinander versetzt.

Das hat den Vorteil, daß alle Teile des durchströmenden ersten gasförmigen oder flüssigen Mediums mit Kapillar-Hohlfasern in Wechselwirkung kommen können. Ein derartiges Ergebnis könnte aber auch teilweise dadurch erreicht werden, daß die Kapillar-Hohlfasern einer Ebene genügend dicht aneinander gelegt werden, wodurch jedoch für das erste gasförmige oder flüssige Medium ein größerer Widerstand entsteht, als wenn in jeder Ebene Lücken zwischen den Kapillar-Hohlfasern gelassen werden, die durch eine versetzte Anordnung in einer anderen Ebene geschlossen werden. Ein derartiger Widerstand wäre nachteilig, weil er erstens zu einem Energieverlust und zweitens auch zu einem höheren Druckabfall über die Reaktorlänge führt, der wiederum nachteilig für ein gleichmäßiges Zusammensetzen über die Länge des Reaktors ist. Dieser Nachteil wird eben durch die versetzte Anordnung in verschiedenen Ebenen beseitigt.

Gemäß einer besonderen Weiterbildung der Erfindung ist das Membranelement als mehreckiger oder runder Rahmen und insbesondere als rechteckiger Rahmen ausgebildet, zwischen dessen jeweils gegenüberliegenden Seiten sich die Kapillar-Hohlfasern erstrecken.

Insbesondere bei einer Ausführungsform mit rechteckigem Rahmen ist vorteilhaft, daß sich derartige Membranelemente aufgrund der rechteckigen Form mit wenig Verschnitt herstellen lassen. Ein weiterer Vorteil besteht darin, daß sich senkrecht zu der sich in einer Richtung erstreckenden Kapillar-Hohlfasern einer Ebene auch andere Kapillar-Hohlfasern beispielsweise in einer anderen Ebene erstrecken können. Die Vorteile einer solchen Anordnung wurden vorstehend schon beschrieben. Der Rahmen gemäß der Weiterbildung erlaubt eine sehr einfache Ausbildung derartiger Membranelemente.

Gemäß einer vorzugsweisen Weiterbildung der Erfindung ist das Membranelement als quadratischer Rahmen ausgebildet, wodurch die in dem Rahmen gefaßten Kapillar-Hohlfasern jeweils gleich lang sind.

Die gleiche Länge der Kapillar-Hohlfasern ist zweckmäßig, um ein möglichst gleichmäßiges Fließen der

zweiten Flüssigkeit zu erreichen. Wäre nämlich eine Kapillar-Hohlfaser wesentlich länger als eine andere, dann würde durch die unterschiedlichen Druckabfälle aufgrund der Länge strömungsmäßig ein Ausgleich dadurch erzielt werden, daß das zweite Gas oder die zweite Flüssigkeit im wesentlichen nur durch die kürzeren Kapillar-Hohlfasern fließt und die längeren nicht oder nur wenig mit dem zweiten Gas oder der zweiten Flüssigkeit beaufschlagt werden. Ungleiche Längen würden einer gleichmäßigen Beladung des gasförmigen oder flüssigen Mediums mit dem zweiten Gas oder der zweiten Flüssigkeit entgegenstehen.

Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung der Erfindung münden die Kapillar-Hohlfasern jeweils an den entsprechenden Seiten des Rahmens in separaten Einlässen bzw. Auslässen für das zweite Gas oder die zweite Flüssigkeit.

Dies hat den Vorteil, daß man die zweiten Gase oder Flüssigkeiten in den senkrecht aufeinanderstehenden Strömungsrichtungen separat führen kann, was einen zusätzlichen Parameter für die Prozeßoptimierung schafft. Die Weiterbildung erlaubt nämlich unterschiedliche Druckabfälle in beiden senkrecht aufeinanderstehenden Richtungen, was z. B. zweckmäßig sein kann, um Toleranzen in verschiedenen Längen von Kapillar-Hohlfasern auszugleichen. Wichtiger ist jedoch, daß es auch eine Anwendungsmöglichkeit bietet, dem ersten gasförmigen oder flüssigen Medium zusätzlich zu dem zweiten Gas oder der zweiten Flüssigkeit auch ein drittes Gas oder eine dritte Flüssigkeit mit vom zweiten Gas oder der zweiten Flüssigkeit verschiedenen Überführungsparametern zuzumischen, da aufgrund der Weiterbildung unterschiedliche, voneinander getrennte Strömungswege für das Gas oder die Flüssigkeit, mit dem das erste gasförmige oder flüssige Medium beladen werden soll, zur Verfügung stehen.

Gemäß einer vorzugsweisen Weiterbildung des Reaktors werden mehrere Membranelemente zu einem Membranmodul baulich zusammengefaßt.

Dies hat vor allen Dingen Vorteile für eine einfache Bestückung eines Reaktors, indem mehrere Membranelemente zusammen in den Reaktor eingeführt werden können. Diese Maßnahme verringert nicht nur die Bestückungszeit, wenn der Reaktor für einen neuen, anderen Prozeß mit anderen Membranelementen bestückt werden soll, sondern verringert auch den Zeitaufwand bei der Reinigung bzw. bei anderen Wartungsschritten.

Nach einer weiteren bevorzugten Weiterbildung der Erfindung werden mehrere Membranelemente in einem Membranmodul so miteinander verbunden, daß der Auslaß von Kapillar-Hohlfasern eines Membranelementes jeweils mit dem Einlaß von Kapillar-Hohlfasern eines nachfolgenden Membranelementes zusammengeschaltet sind, so daß das zweite Gas oder die zweite Flüssigkeit in einem Membranelement mit entgegengesetzter Strömungsrichtung zu dem vorhergehenden Membranelement geführt wird. Mit Hilfe dieser Ausgestaltung läßt sich vor allen Dingen das bereits oben beschriebene Verfahren vorteilhaft durchführen.

In vorteilhafter Weiterbildung besteht das Membranmodul im wesentlichen aus einem aus vier zwischen einer rahmenförmigen Bodenplatte und einem rahmenförmigen Deckel angeordneten Eckstützen gebildeten Käfig, in welchem mehrere Membranelemente übereinander gestapelt sind.

Dieser Aufbau ermöglicht einen besonders leichten Ein- bzw. Zusammenbau mehrerer Membranelemente. Ein derartiges Membranmodul ist aber auch leicht aus-

einandernehmbar und mit anderen Membranelementen bestückbar.

Vorteilhaft sind zwischen den einzelnen Membranelementen unterschiedlich dicke Distanzstücke angeordnet.

Die Einführung von Distanzstücken hat den Vorteil, daß der Prozeß durch Variation der Distanzen zwischen den Membranelementen in Abhängigkeit der Größe des zur Verfügung stehenden Reaktors und der gewünschten Prozeßparameter für die Mischung mit standardisierten Modulen optimiert werden kann. Die Einführung der Distanzstücke beeinflußt sowohl den Druckabfall über den Reaktor, als auch die Mischung des zweiten Gases oder der zweiten Flüssigkeit mit dem gasförmigen oder flüssigen Medium. Durch Wahl unterschiedlicher Distanzstücke und Membranelemente stehen weitere Parameter zur Verfügung, eine gewünschte Mischung zu erreichen, was als besonders vorteilhaft anzusehen ist, da der erfundungsgemäße Reaktor zur Beladung eines gasförmigen oder flüssigen Mediums mit einem zweiten Gas oder einer zweiten Flüssigkeit in einem weiten Bereich anwendbar sein soll. Durch verschiedene Distanzstücke und Membranelemente läßt sich das jeweils günstigste Mischungsverhältnis für verschiedene Mischprozesse einstellen.

In vorteilhafter Weiterbildung sind zwischen den Eckstützen mittig zusätzliche Stützen vorgesehen.

Diese Maßnahme erhöht die Stabilität der Membranmodule.

Eine vorzugsweise Weiterbildung der Erfindung sieht vor, daß die Membranelemente wie auch die Distanzstücke in den winkligen Innenseiten der Eckstützen dicht anliegen.

Diese Maßnahme erlaubt es, verschiedene Seiten der Membranelemente gegeneinander abzudichten. Dadurch werden verschiedene Bereiche der Membranelemente druckmäßig voneinander entkoppelt. Aufgrund dieser Maßnahme können verschiedene Strömungswege mit verschiedenen Drücken beaufschlagt werden, was eine weitere Hilfe für die Optimierung der Mischung darstellt.

In weiterer vorteilhafter Ausbildung weisen mindestens zwei sich diametral gegenüberliegende Eckstützen im Unterschied zu den beiden anderen sich diametral gegenüberliegenden Eckstützen nach außen weisende Vorsprünge auf, die zur dichten Befestigung auf die Innenseite des Gehäuses des Reaktors bestimmt sind.

Bei dieser Ausbildung der Erfindung werden verschiedene räumliche Bereiche der Membranelemente durch die dichte Befestigung voneinander entkoppelt. Die Verlängerungen haben Flächen, die an der Reaktorwand zum Anliegen kommen. Durch die flächenhafte Ausbildung der nach außen weisenden Verlängerungen ist eine solche Dichtheit besonders einfach zu erreichen. Die Dichtheit wird vor allen Dingen benötigt, um Einlaß- und Auslaßbereich für das zweite Gas oder die zweite Flüssigkeit voneinander zu trennen, damit eine Druckdifferenz zwischen Einlaßbereich und Auslaßbereich aufrechterhalten werden kann, die das zweite Gas oder die zweite Flüssigkeit durch die Kapillar-Hohlfasern strömen läßt.

Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist das Gehäuse des Reaktors symmetrisch zur Strömungssachse zylindrisch ausgebildet und die Eckstützen mit ihren Vorsprüngen, mit welchen sie an der Innenwand des Gehäuses befestigt sind, den Reaktorraum in voneinander getrennte Räume unterteilt, durch welche das zweite Gas oder der zweiten Flüssigkeit vor

dem Eindringen in die Kapillar-Hohlfasern bzw. nach dem Verlassen dieser Kapillar-Hohlfasern strömt.

Diese Merkmale führen in vorteilhafter Weise zu einer besonders einfachen Ausgestaltung eines erfundungsgemäßen Reaktors. Die vorgenannten quadratischen Membranelemente bzw. die Membranmodule können von einem zylindrischen Gehäuse leicht an allen Ecken umfaßt werden, wobei alle Ecken des quadratischen Rahmens in dem zylindrischen Gehäuse zum Anliegen kommen können. Ist nur ein Einlaßbereich und ein davon getrennter Auslaßbereich vorgesehen, werden nur zwei voneinander getrennte Halbräume benötigt, das bedeutet, eine Dichtung ist nur in einer Diagonalrichtung des quadratischen Rahmens erforderlich. Zur Abdichtung dienen die schon vorerwähnten Vorsprünge. Durch die dichte Befestigung an den beiden Eckstützen wird das Gehäuse in zwei voneinander getrennte Halbräume unterteilt, wobei der eine Halbraum als Einlaß und der andere Halbraum als Auslaß verwendet wird.

In vorzugsweiser Weiterbildung werden mehrere solcher Membranmodule übereinander im Innenraum des Reaktors angeordnet und dicht miteinander verbunden.

Aufgrund der Vielzahl solcher Membranmodule wird die zur Wechselwirkung des zweiten Gases oder der zweiten Flüssigkeit mit dem gasförmigen oder flüssigen Medium zur Verfügung stehende Oberfläche weiter erhöht, so daß ein noch besserer Gasaustausch ermöglicht wird. Im Prinzip könnte man sämtliche Membranelemente in einem einzigen Membranmodul zusammenfassen, dies hätte aber dann Nachteile, wenn der Reaktor nach Durchführung eines ersten Prozesses anschließend für einen anderen Prozeß verwendet werden soll, jedoch nicht mit derselben Anordnung der Membranelemente. Die Bestückung mit mehreren Membranmodulen, die verschieden voneinander sind und übereinander in dem Innenraum des Reaktors angeordnet werden können, bewirkt einen flexiblen Einsatz eines solchen Reaktors für unterschiedliche Prozesse, die in einem Labor oder einer Fertigungsanlage anfallen. Diese Flexibilität wird dadurch erreicht, daß mehrere Membranmodule mit verschiedenen Membranelementen bzw. Distanzstücken versehen werden und nach den Anforderungen die Kombinationen der verschiedenen Membranelemente allein durch Austausch von Membranmodulen geändert werden muß.

Vorteilhaft bildet jedes Membranmodul einen vollständigen Abschnitt des Reaktors, dergestalt, daß jeder Abschnitt ein Teil des Gehäuses des Reaktors umfaßt, der auf seiner Unter- und Oberseite mit je einer Abdeckplatte versehen ist, welche Durchlässe zur Durchführung des zweiten Gases oder der zweiten Flüssigkeit von einem Abschnitt zum anderen aufweisen.

Aufgrund dieser Weiterbildung der Erfindung ist es möglich, die Strömung der zweiten Flüssigkeit oder des zweiten Gases durch das erste gasförmige oder flüssige Medium in verschiedenster Art zu führen. So ist es beispielsweise möglich, Einlässe und Auslässe zusammenzufassen oder aber auch das zweite Gas oder die zweite Flüssigkeit, das aus einem Abschnitt austritt, in einen anderen Abschnitt wieder in Kapillar-Hohlfasern einzuführen, um es erneut mit dem ersten gasförmigen oder flüssigen Medium in Verbindung zu bringen. Diese Beispiele zeigen, daß verschiedenste Strömungsführungen ermöglicht werden können, wodurch weitere Möglichkeiten zur Optimierung des Mischprozesses zur Verfügung gestellt werden.

Gemäß einer vorzugsweisen Weiterbildung der Erfin-

dung ist ein Reaktor aus einer Mehrzahl solcher Abschnitte zusammengesetzt, welche eine Modulkaskade bilden.

Bei der Modulkaskade wird jeweils der Auslaß für das zweite Gas oder die zweite Flüssigkeit von einem Abschnitt mit dem Einlaß für das zweite Gas oder die zweite Flüssigkeit in einem anderen Abschnitt zusammengeschaltet. Damit entsteht nur ein einziger Einlaß für das zweite Gas oder die zweite Flüssigkeit, welches bzw. welche in verschiedenen Abschnitten mehrfach durch das erste gasförmige oder flüssige Medium geleitet wird, bis es an einem Auslaß hervortritt. Mit Hilfe dieser Maßnahme wird der Restanteil des zweiten Gases oder der zweiten Flüssigkeit, der aus einem Abschnitt hervortritt, verringert, weil der von dem gasförmigen oder flüssigen Medium nicht aufgenommene Teil mehrfach in Wechselwirkung mit dem gasförmigen oder flüssigen Medium gebracht wird. Bei dieser Ausführungsform ist der Restanteil des zweiten Gases oder der zweiten Flüssigkeit nach Durchlaufen des Reaktors geringer, als wenn nur ein gemeinsamer Einlaß für alle Membranelemente vorgesehen wäre. Dies ist deshalb vorteilhaft, da nur kleinere Kompressoren oder Pumpen benötigt werden, wenn das nicht aufgenommene zweite Gas oder der zweite Flüssigkeit zum Einlaß zurückgeführt wird. Ein weiterer Vorteil besteht darin, daß der Sicherheitsaufwand zur Entsorgung des zweiten Gases oder der zweiten Flüssigkeit geringer ist, wenn dieses bzw. diese beispielsweise giftig ist.

Von besonderem Vorteil ist jedoch, daß bei der genannten Weiterbildung das zweite Gas oder die zweite Flüssigkeit nicht nur in einer Richtung fließt, sondern innerhalb des ersten Mediums hin- und hergeführt wird. Diese Maßnahme sorgt für ein besseres Durchmischen des zweiten Gases oder der zweiten Flüssigkeit mit dem ersten gasförmigen oder flüssigen Medium. Da beim Durchfließen einer zweiten Flüssigkeit oder eines zweiten Gases durch eine Kapillar-Hohlfaser ein Druckabfall über die Länge derselben entsteht, kann bei einer gleichsinnigen Führung des zweiten Gases oder der zweiten Flüssigkeit durch das gasförmige oder flüssige Medium eine gleichmäßige Mischung nur unvollständig erreicht werden, denn am Einlaß und am Auslaß liegen unterschiedliche physikalische Bedingungen vor. Diese Differenz von Einlaß zu Auslaß, mag sie auch noch so gering sein, wird gemäß der Weiterbildung teilweise dadurch ausgeglichen, daß in einem anderen Abschnitt des Reaktors das zweite Gas oder die zweite Flüssigkeit in entgegengesetzter Richtung geführt wird.

Gemäß einer anderen bevorzugten Weiterbildung der Erfindung werden die Ein- und Auslässe jedes Moduls miteinander verbunden, so daß gleiche Druckgradienten in allen Kapillar-Hohlfasern vorliegen.

Dies ermöglicht einen besonders einfachen Aufbau, man muß jedoch auf die Vorteile des Hin- und Herführens des zweiten Gases oder der Flüssigkeit durch den Reaktor verzichten, wodurch sich ein weniger gleichmäßiges Aufnehmen des zweiten Gases oder der zweiten Flüssigkeit über die Länge der Kapillar-Hohlfaser ergibt. Sind jedoch die Druckgradienten über der Kapillar-Hohlfaser gering, sind keine Nachteile dieser Art zu befürchten und der dadurch bedingte einfache Aufbau des Reaktors macht sich vorteilhaft bemerkbar.

Neben der Verwendung des Reaktors zum Anreichern eines gasförmigen oder flüssigen Mediums mit einem zweiten Gas oder der zweiten Flüssigkeit kann der oben geschilderte Reaktor mit seinen Weiterbildungen auch zum Trennen von Gasen oder Flüssigkeiten

verwendet werden. Dies ist ein besonderer Vorteil gegenüber dem Stand der Technik, da gleiche Modulelemente für unterschiedliche Anwendungen benutzt werden können.

5 Zwar ist aus der US-PS 4 959 152 der Aufbau eines Reaktors zum Trennen von Gasen und/oder Flüssigkeiten bekannt, bei dem auch Kapillar-Hohlfasern verwendet werden, jedoch eignet sich dieser nicht zum Anreichern, da das zweite Gas oder der zweiten Flüssigkeit nicht durch die Kapillar-Hohlfasern fließen kann. Beim Anreichern würde das zweite Gas in der Mitte der Kapillar-Hohlfasern ruhen, während es an den Einlaßseiten fließen würde, wodurch unterschiedliche Verhältnisse vom Zentrum zur Peripherie, an der das zweite Gas oder die zweite Flüssigkeit eingeführt wird, verursacht würden, so daß bei einer Überführung des zweiten Gases oder der zweiten Flüssigkeit in ein gasförmiges oder flüssiges Medium eine gleichmäßige Beladung nicht in allen Fällen erreicht werden kann.

10 Im Gegensatz dazu werden bei dem erfindungsgemäßen Reaktor die Kapillar-Hohlfasern mit dem zweiten Gas oder der zweiten Flüssigkeit durchströmt, so daß an allen Abschnitten der Kapillar-Hohlfasern stets ein Überangebot an durchströmtem zweitem Gas oder zweiten Flüssigkeit erreichbar ist. Der erfindungsgemäße Reaktor ist also dem aus dem Stand der Technik bekannten Reaktor beim Beladen überlegen und kann darüber hinaus auch noch für das Trennen von Gasen oder Flüssigkeiten eingesetzt werden. Der erfindungsgemäße Reaktor besitzt damit den Vorteil, verschiedene Betriebsarten wie das Beladen und das Trennen mit denselben Membranelementen durchführen zu können. Dies erlaubt eine Standardisierung und wirkt sich kostengünstig für die Prozeßführung aus, da weniger verschiedene Teile auf Lager gehalten werden müssen.

15 20 25 30 35 Die Vorrichtung sowie das damit durchzuführende Verfahren näher erläuternde Ausführungsbeispiele werden anhand der Zeichnungen geschildert.

35 Es zeigen:

40 Fig. 1 bis 4 perspektivische Ansichten verschiedener Ausführungsformen von Membranelementen, die bei dem erfindungsgemäßen Verfahren verwendet werden können,

45 Fig. 5 eine perspektivische Ansicht eines mehrere Membranelemente und Distanzstücke umfassenden Membranmoduls,

50 Fig. 6 eine Draufsicht auf ein als Abschnitt des Reaktors ausgebildetes Membranmodul,

55 Fig. 7 einen Schnitt entlang der Linie VII-VII in Fig. 6,

Fig. 8 einen schematischen Schnitt durch einen mehrere kaskadenförmig aufeinandergestapelte Membranmodule enthaltenden Reaktor, bei dem das zweite Gas oder die zweite Flüssigkeit im Gleichstrom mit dem ersten gasförmigen oder flüssigen Medium geführt wird und

55 60 Fig. 9 einen Schnitt gemäß Fig. 8, bei dem das zweite Gas oder die zweite Flüssigkeit im Gegenstrom zum ersten gasförmigen oder flüssigen Medium geführt wird.

In der nachfolgenden Beschreibung, wie auch in den Figuren, wird das erste gasförmige oder flüssige Medium immer mit Fluid I und das zweite Gas oder die zweite Flüssigkeit mit Fluid II bezeichnet.

65 Der für die Durchführung des weiter unten erläuterten Verfahrens zum Beladen eines Fluids I mit einem zweiten Fluid II geeignete Reaktor enthält die für das Verfahren wesentlichen und baulich besonders integrierten Kapillar-Hohlfasern 1 bzw. 1'. Diese werden senkrecht zur Strömungsrichtung des Fluids I angeord-

net, und zwar innerhalb von Membranelementen 2, wie sie in den Fig. 1 bis 4 dargestellt sind. Anstelle der Kapillar-Hohlfasern können auch die bereits oben erwähnten perforierten Schläuche verwendet werden.

Die Membranelemente 2 bestehen im wesentlichen aus einem Rahmen mit einem oberen Rahmenteil 3 und einem unteren Rahmenteil 4, zwischen denen die Kapillar-Hohlfasern 1 bzw. 1' eingespannt sind. Die zwischen den Rahmenteilen 3 bzw. 4 eingespannten offenen Enden der Kapillar-Hohlfasern 1 bzw. 1' sind sowohl gegeneinander als auch gegenüber den Rahmenteilen 3 bzw. 4 abgedichtet. Dies kann beispielsweise in der Form erfolgen, daß die Enden der Kapillar-Hohlfasern 1 bzw. 1' in einer dichtenden Klebemasse, z. B. Kunstharz, eingebettet sind. Die oberen und unteren Rahmenteile 3 bzw. 4 weisen jeweils gleich große Durchströmöffnungen 5 auf, durch welche das Fluid in das Membranelement 2 hinein und durch dieses hindurchströmen kann. Durch diese Ausbildung kann Fluid II getrennt von Fluid I durch die Kapillar-Hohlfasern 1 bzw. 1' und Fluid I getrennt von Fluid II durch das Membranelement 2 hindurchfließen.

Es sind verschiedene Rahmenformen zur Befestigung der Kapillar-Hohlfasern 1 bzw. 1' möglich, die in den Fig. 1 bis 4 gezeigte quadratische Form läßt jedoch eine einfache Fertigung zu und ist besonders günstig für den Einbau in einen Reaktor. Ein besonderer Vorteil ergibt sich aber insofern, als die offenen Enden der senkrecht zueinander angeordneten Kapillar-Hohlfasern 1 bzw. 1' der jeweiligen Ebenen aufgrund der Geometrie auf jeweils einer Seite des Rahmens angeordnet sind. Die Einlaß- und Auslaß-Öffnungen der Kapillar-Hohlfasern 1 und der senkrecht dazu liegenden Kapillar-Hohlfasern 1' können daher getrennt voneinander betrieben werden, was insbesondere für die Strömungsführung innerhalb einer aus mehreren, die Membranelemente 2 umfassenden Membranmodulen gebildeten Modulkaskade vorteilhaft ist, wie später noch eingehend beschrieben wird.

Die quadratische Ausgestaltung des Rahmens hat den Vorteil, daß alle verwendeten Kapillar-Hohlfasern 1 bzw. 1' gleich lang sind. Wäre dies nicht der Fall, würden aufgrund des Druckabfalls des durchströmenden Fluids II unterschiedliche physikalische Bedingungen in unterschiedlichen Richtungen herrschen.

Fig. 1 zeigt eine einfache Ausführungsform des Membranelementes 2, bei der die Kapillar-Hohlfasern 1 bzw. 1' der jeweils gleichgerichteten Ebenen genau übereinander liegen. Im Unterschied dazu sind bei dem in Fig. 2 dargestellten Membranelement 2 die in den jeweiligen Ebenen angeordneten Kapillar-Hohlfasern 1 bzw. die Kapillar-Hohlfasern 1' zu denjenigen in den jeweils anderen Ebenen gegeneinander versetzt. Dadurch wird sichergestellt, daß jedes Strömungsflächenelement des Fluids I ähnliche Bedingungen für die Wechselwirkung mit den Kapillar-Hohlfasern 1 und 1' hat, wie ein beliebig anderes benachbartes Flächenelement.

Die Effektivität der Wechselwirkung zwischen Fluid I und Fluid II wird auf diese Weise erhöht. Prinzipiell könnte man auch zur Verbesserung der Wechselwirkung die Kapillar-Hohlfasern 1 bzw. 1' in einer Ebene beliebig dicht legen. Eine solche Anordnung hätte jedoch den Nachteil, daß der Strömung des Fluids I ein großer Widerstand entgegengesetzt wird, wodurch ein Teil der Bewegungsenergie des Fluids I verlorengeht bzw. der Druck desselben vom oberen Rahmenteil 3 des Membranelementes 2 zum unteren Rahmenteil 4 entsprechend stark abfällt, was sowohl für die Erhaltung

gleichmäßiger Bedingungen innerhalb eines vollständig mit Membranelementen 2 bestückten Reaktors unerwünscht ist, als es auch die Membranelemente 2 und die Kapillar-Hohlfasern 1 bzw. 1' nachteilig belastet. Es ist 5 folglich günstiger, die Kapillar-Hohlfasern 1 bzw. 1' jeweils mit Lücken zueinander in einer Ebene anzuordnen, wobei diese Lücken durch eine versetzte Anordnung der Kapillar-Hohlfasern 1 bzw. 1' einer anderen Ebene sozusagen geschlossen werden. Durch die Wahl 10 der Lückengröße und des Grads der Versetzung der Ebenen zueinander, kann die Größe der Verwirbelung innerhalb des Membranelementes 2, die sich direkt auf die Vermischung des Fluids II mit dem Fluid I auswirkt, eingestellt werden.

Bei sehr hohen Temperaturen können sich die Kapillar-Hohlfasern ausdehnen und werden beweglich. Wenn sie durch die Strömung des Fluid I bewegt werden, nehmen sie nicht nur Energie aus der Strömung auf, sondern werden auch durch die entsprechenden Bewegungen mechanisch belastet, was die Lebensdauer herabgesetzt. Ähnliche Verhältnisse liegen vor, wenn aufgrund 20 anderer Anwendungserfordernisse besonders elastische Materialien für die Kapillar-Hohlfasern verwendet werden müssen.

Um diese energiezehrenden Bewegungen zu vermeiden, wird z. B. im Stand der Technik das Verkleben dem Kapillar-Hohlfasern oder auch das Verweben mit dünnen Fasern aus Nylon, Polyester oder ähnlichem empfohlen. Die Kapillar-Hohlfasern 1 bzw. 1' können aber 25 auch selbst miteinander verweben werden. Ein derartiges Ausführungsbeispiel ist in Fig. 3 zu sehen, bei dem die Kapillar-Hohlfasern 1 mit den Kapillar-Hohlfasern 1' gewebeartig wie Kette und Schuß ineinandergreifen, wobei jeweils eine der Kapillar-Hohlfasern 1 als Kette 30 und eine andere senkrecht dazu liegende Kapillar-Hohlfaser 1' als Schuß wirkt.

Das Ausführungsbeispiel nach Fig. 3 ist auch deswegen besonders vorteilhaft, weil keine zusätzlichen Materialien, wie Kleber, Nylon, Polyester oder ähnliches verwendet und vom Fluid I angeströmt werden. Es ist also nicht zu befürchten, daß bei Arbeiten mit aggressiven Stoffen für Fluid I oder Fluid II Teile der zusätzlichen Materialien abgetragen werden, wodurch sich eine Veränderung der Membranelemente 2 wie auch eine Beeinflussung des weiteren Prozesses, bei dem das Fluid I benötigt wird, durch Verunreinigungen desselben zur Folge hätte.

Fig. 4 zeigt schließlich noch ein viertes Ausführungsbeispiel für ein Membranelement 2, in welchem nur Ebenen gleichgerichteter Kapillar-Hohlfasern 1 angeordnet sind, also auf Ebenen mit senkrecht dazu liegenden Kapillar-Hohlfasern 1' verzichtet wurde. Eine solche Ausführungsform ist dann anzuwenden, wenn wegen besonderer baulicher Gestaltung des Reaktors nur jeweils eine Einlaß- bzw. Auslaßseite 6 bzw. 7, verwendet werden können.

Bei einer derartigen Ausführungsform ist aber ganz besonders darauf zu achten, daß der vom Fluid I beaufschlagte Querschnitt möglichst gleichmäßig mit Kapillar-Hohlfasern 1 bedeckt ist, da sonst nur geringe Verwirbelungen in axialer Richtung der Kapillar-Hohlfasern 1 erzeugt werden. Aus diesem Grund sind hier auch, wie schon in Verbindung mit Fig. 2 beschrieben, die Kapillar-Hohlfasern 1 einer Ebene gegenüber den Kapillar-Hohlfasern 1 einer anderen Ebene versetzt.

Bei allen in Fig. 1 bis Fig. 4 beschriebenen Ausführungsformen ist zu erkennen, daß für jede Strömungsrichtung mehrere Ebenen von Kapillar-Hohlfasern 1

bzw. 1' vorhanden sind. Untersuchungen haben gezeigt, daß die beschriebenen Membranmodule 2 am wirkungsvollsten mit 1 bis 5 Ebenen von Kapillar-Hohlfasern 1 bzw. 1' je Strömungsrichtung betrieben werden.

Sämtliche vorbeschriebenen Ausführungsformen der Membranmodule 2 lassen sich für das erfindungsgemäße Verfahren verwenden. Bei diesem wird das Fluid II, mit dem das Fluid I beladen wird, in die Kapillar-Hohlfasern 1 bzw. 1' geführt, die Faserwände mit einer mikroporösen Struktur besitzen, durch die das Fluid II in das Fluid 1 eindringen kann. Die Überführung des Fluids II aus den Kapillar-Hohlfasern 1 bzw. 1' in das Fluid I geschieht aufgrund von Gradienten und physikalischen oder chemischen Parametern, von denen insbesondere Druck-, Temperatur- oder Konzentrationsdifferenzen zu nennen sind. Im Falle von Druckgradienten reicht bereits eine kleine Druckdifferenz zwischen Fluid II und Fluid I, nämlich ein Druckunterschied, der das Fluid II durch die Poren der mikroporösen Faserwand der Kapillar-Hohlfasern 1 bzw. 1' an dessen Außenwandung bringt wo es eine Phasengrenze zum Fluid I bzw. Bläschen bildet. Aufgrund der Strömung des Fluids I werden die Bläschen entweder abgeschert oder aufgrund des dynamischen Druckes der Strömung direkt in das Fluid I gesaugt. Die durch das Auftreffen von Fluid I auf eine Kapillar-Hohlfaser 1 bzw. 1' entstehenden Verwirbelungen oder Turbulenzen sorgen dafür, daß sich Fluid I mit Fluid II über einen größeren Raumbereich gut vermischt. Die Zuführung des Fluids II in das Fluid I über Kapillar-Hohlfasern 1 bzw. 1' statt durch Begaskörper nach dem Stand der Technik ist vor allem deswegen vorteilhaft, weil das Oberflächen/Volumenverhältnis bei Kapillar-Hohlfasern wesentlich günstiger liegt als es durch Begaskörper erreicht werden könnte. Dies gilt vor allem dann, wenn Fluid II ein Gas ist, denn Gasblasen können aufgrund der Oberflächenspannung nicht beliebig klein gehalten werden.

Bei den Beispielen nach Fig. 1 bis Fig. 3 sind die Kapillar-Hohlfasern 1 senkrecht zu den Kapillar-Hohlfasern 1' in verschiedenen Ebenen vorgesehen. Dadurch werden alle Richtungskomponenten der Turbulenzen des Fluids I beim Auftreffen auf die Kapillar-Hohlfasern 1 bzw. 1' für die Umspülung der Oberflächen der Kapillar-Hohlfasern 1 bzw. 1' ausgenutzt, wodurch die Effektivität der Vermischung des Fluid II mit dem Fluid I erhöht wird.

Werden größere Austauschflächen zwischen Fluid II und Fluid I als die oben genannten 5 mal 2 Lagen von Kapillar-Hohlfasern benötigt, können die einzelnen Membranelemente 2 zu Membranmodulen 8 zusammengefaßt werden. Ein derartiges Membranmodul 8 ist in Fig. 5 abgebildet.

In dem Membranmodul 8 fließt das Fluid I durch mehrere hintereinander angeordnete Membranelemente 2, die durch Distanzstücke 9 bzw. 10 in einem Abstand voneinander gehalten werden. Der gesamte Aufbau wird von einem Käfig 11 zusammengehalten, der im wesentlichen eine rahmenförmige Bodenplatte 12, einen ebenfalls rahmenförmigen Deckel 16 und zwischen beiden angeordnete Eckstützen 13 bzw. 14 umfaßt. Zur Erhöhung der Stabilität des Käfigs 11 können zwischen den Eckstützen 13 bzw. 14 noch weitere Stützen 15 vorgesehen sein, wie es in dem Ausführungsbeispiel nach Fig. 5 dargestellt ist.

Die Eckstützen 13 sind im Unterschied zu den Eckstützen 14 mit Vorsprüngen 17 ausgestaltet, ebenso weisen die rahmenförmige Bodenplatte 12 und der rahmenförmige Deckel in ihren den Eckstützen 13 jeweils zuge-

ordneten Bereichen solche Vorsprünge 18 auf, die mit ihren Außenflächen 19 an der Innenwand eines Reaktorgehäuses befestigt werden können. Dabei liegen die Außenflächen 19 an der Innenwand dicht an, wie später noch beschrieben wird. Auch zwischen den Ecken der Membranelemente 2 sowie der Distanzstücke 9 bzw. 10 und den Innenseiten der Eckstützen 13 und 14 sind Dichtungen vorgesehen.

Nach Entfernen des Deckels 16 vom Käfig 11 können zum Bestücken des Käfigs 11 abwechselnd Distanzstücke 9 bzw. 10 und Membranelemente 2 eingelegt werden. Durch die Wahl von Distanzstücken unterschiedlicher Abmessungen wie auch der Reihenfolge solcher Distanzstücke 9 bzw. 10 einerseits und Membranelemente 2 unterschiedlicher Eigenschaften andererseits, kann ein Membranmodul 8 für unterschiedliche Anwendungen optimiert werden.

Das Zusammenführen von Flüssigkeiten oder Gasen mittels eines solchen Membranmoduls 8 erfolgt in gleicher Weise, wie es schon in Zusammenhang mit den Membranelementen 2 nach den Fig. 1 bis 4 beschrieben wurde. Die Strömungsrichtungen für Fluid I und Fluid II sind auch in Fig. 5 mit Pfeilen angegeben. Das Fluid II wird bei diesem Ausführungsbeispiel von zwei Seiten des Käfigs 11 in die Kapillar-Hohlfasern hinein und auf der gegenüberliegenden Seite herausgeführt, während das Fluid I durch den rahmenförmigen Deckel 16 zwischen den Kapillar-Hohlfasern hindurch zur Bodenplatte 12 fließt.

Fig. 6 zeigt die Draufsicht auf ein in einem Gehäuse 20 eingesetztes Membranmodul 8. Das Gehäuse 20 umschließt das Membranmodul 8, wobei die Außenflächen 19 der Vorsprünge 17 an den Eckstützen 13, dem Deckel 16 und der Bodenplatte 12 dicht an der Innenwand des Gehäuses 20 anliegen. Die dadurch gebildeten beiden Räume 21 bzw. 22 dienen zur Strömungsführung des Fluids II, mit dem das Fluid I beaufschlagt werden soll. Fluid II wird durch in einem Gehäusedeckel 23 vorgesehene Einlässe 24 bzw. 25 in den Raum 21 eingeführt und unter Druck gehalten. Dadurch tritt es in die Kapillar-Hohlfasern der im Membranmodul 8 angeordneten Membranelemente 2 ein und auf der gegenüberliegenden Seite in den Raum 22 aus, aus welchem es durch im Gehäuseboden 26 vorgesehene Auslässe 27 bzw. 28 strömt und von dort in einen Kreislauf zurückgeführt, entsorgt oder aber in ein darunter angeordnetes weiteres Gehäuse mit einem anderen Membranmodul geführt werden kann, wie später noch beschrieben wird.

Zur besseren Veranschaulichung der vorbeschriebenen Strömungsführung des Fluids II durch das Gehäuse 20 wird auf Fig. 7 verwiesen, welche einen Schnitt entlang der Linie VII-VII in Fig. 6 zeigt.

In dem anhand der Fig. 5 bis 7 beschriebenen Beispiel sind die Strömungswege von Fluid II durch die Kapillar-Hohlfasern 1 und den senkrecht dazu liegenden Kapillar-Hohlfasern 1' gleichgerichtet, d. h., von Raum 21 zu Raum 22, denn nur die Eckstützen 13 des Membranmoduls 8 sind gegenüber der Innenwand des Gehäuses 20 abgedichtet. Würde man jedoch alle vier Ecken des Membranmoduls 8 gegenüber dem Gehäuse 20 abdichten, ergeben sich vier Räume im Gehäuse 20 und zwei voneinander getrennte Strömungswege, die für das Fluid II benutzt werden könnten.

Die Anordnung von zwei Strömungswegen eröffnet die Möglichkeit, dem Fluid I ein weiteres Gas oder Fluid zuzuführen, das beispielsweise einen von Fluid II verschiedenen Druck aufweist, um optimal in das Fluid I eingeführt zu werden.

Die Membranmodule 8 können auch mit einer anderen als vorstehend beschriebenen Strömungsführung beaufschlagt werden. Beispielsweise kann die Strömung so geführt werden, daß das aus einem ersten Membran- element 2 austretende Fluid II in das nachfolgende zweite Membranelement 2 und sofort eingeführt wird, so daß die Strömungsführung für das Fluid II im Fluid I mäanderförmig erfolgt. Mit einer solchen Führung können Einflüsse physikalischer Effekte, wie sie in dem vorbeschriebenen Beispiel aufgrund des zwischen Einlaß und Auslaß bestehenden unterschiedlichen Druckes auftreten können, verringert werden.

Fig. 8 und 9 zeigen in schematischer Darstellung die Anordnung mehrerer Membranmodule 8 innerhalb eines Gehäuses 30. Dieses Gehäuse 30 kann z. B. einstückig ausgebildet sein, in welchem dann die einzelnen Membranmodule 8 übereinander gestapelt angeordnet sind, es kann aber auch aus mehreren, jeweils ein Membranmodul 8 enthaltenden und wie in den Fig. 6 und 7 beschriebenen Gehäusen 20 zusammengesetzt sein.

Werden nur die Membranmodule 8 verwendet, müssen zwischen diesen Trennplatten 28 vorgesehen sein, welche ähnlich den Abdeck- und Bodenplatten 23 bzw. 26 der Gehäuse 20 ausgebildet sind und Durchlässe 29 aufweisen, durch welche das Fluid II von Membranmodul 8 zu Membranmodul 8 geführt werden kann. Dieser Strömungsweg ist in den Fig. 8 und 9 mittels der horizontal gerichteten Pfeile für Fluid II angedeutet.

Dieser Strömungsweg des Fluids II ist auch in Fig. 9 derselbe, jedoch wird dort Fluid I entgegengesetzt zum Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 8 durch den Reaktor hindurchgeführt. Der Reaktor nach Fig. 8 arbeitet im "Gleichstrom", derjenige nach Fig. 9 im "Gegenstrom".

Aufgrund der Verbindungen der einzelnen in einer Modulkaskade zusammengestellten Membranmodule 8 über die Durchlässe 29 in den Trennplatten 28 wird das Fluid II in der Modulkaskade hin- und hergeführt, wobei das aus einem Membranmodul 8 austretende Fluid II in das nachfolgende Membranmodul 8 eingelassen wird. Der nicht vom Fluid I aufgenommene Anteil innerhalb des Fluids II kann also erneut mit dem Fluid wechselwirken, so daß der Restanteil des Fluids II wesentlich geringer ist, als dies bei einer gleichsinnigen Durchströmung aller Membranmodule 8 der Fall wäre.

Ein geringerer Restanteil an Fluid II ist insofern von Vorteil, als dessen Weiterbehandlung wesentlich vereinfacht wird. Wird nämlich der Restanteil wieder zum Einlaß des Reaktors zurückgepumpt, wobei sein Druck erhöht wird, so sind wesentlich geringere Kompressorleistungen erforderlich. Ist das Fluid II toxisch, so wird aufgrund des kleineren Restanteils der Aufwand für Sicherheitsmaßnahmen und Entsorgung geringer.

Der Betrieb eines Reaktors im Gleichstrom ist dann vorteilhaft, wenn für die Überführung des Fluids II in das Fluid I Druckdifferenzen wesentlich sind. Aufgrund der Wechselwirkung des Fluids I mit den Kapillar-Hohlfasern 1 bzw. 1' in den Membranmodulen 8 ist ein Druckabfall von der Einlaßseite zur Auslaßseite zu erwarten. Die Kapillar-Hohlfasern setzen dem Fluid II ebenfalls einen Widerstand entgegen, so daß auch hier ein Druckabfall von deren jeweiligen Einlässen zu deren Auslässen entsteht. Bei gleichgerichteter Strömung von Fluid II und Fluid I vom Einlaß zum Auslaß werden also die Druckdifferenzen zwischen beiden Fluiden wesentlich weniger beeinflußt, als die Drücke selbst, d. h., die erwünschte Gleichmäßigkeit beim Beladen des Fluids I mit dem Fluid II aufgrund von Druckdifferenzen ist durch einen solchen Betrieb im wesentlichen sicherge-

stellt.

Anders liegt der Fall, wenn die Aufnahme des Fluids II im Fluid I aufgrund von Konzentrationsdifferenzen im Gleichstrom erfolgen soll. Der Volumenanteil von Fluid II in den Kapillar-Hohlfasern 1 bzw. 1' ist nämlich in der Nähe des Einlasses groß und die Konzentration des Fluids II im Fluid I niedrig. In der Nähe des Auslasses ist der Volumenanteil des Fluids II in den Kapillar-Hohlfasern dagegen geringer geworden und das Fluid I hat eine größere Konzentration im Fluid II angenommen. Dies bedeutet, daß keine gleichmäßige Aufnahme des Fluids II im Fluid I stattfindet, da die Konzentrationsdifferenzen über die Reaktorlänge variieren. Es bietet sich hier also an, den Reaktor im Gegenstrom zu fahren.

In dem in Fig. 9 dargestellten Reaktor sind deshalb Einlaß und Auslaß für das Fluid I gegenüber dem in Fig. 8 gezeigten Ausführungsbeispiel vertauscht. Analog zu den obigen Druckdifferenz-Betrachtungen ist einsichtig, daß hier die Konzentrationsdifferenzen zwischen Fluid I und Fluid II über die Reaktorlänge weniger variieren.

Abgesehen von diesen mehr theoretischen Betrachtungen zeigen Laborversuche, daß die Anwendung des Gegenstromverfahrens im Begasungsbereich, aber auch bei Stoffaustausch- und Separationsprozessen sowie bei der Mikrofiltration beachtliche Vorteile bringt. Die vom Fluid I aufgenommenen Mengen an Fluid II war für alle Versuche im Gegenstromverfahren günstiger als bei einem Betrieb im Gleichstrom.

Der Stand der Technik zeigt zwar bereits Membranelemente mit Kapillar-Hohlfasern, die senkrecht zur Richtung eines Fluids angeordnet sind, jedoch haben diese keine definierte Ausgangs- und Eingangsseite. Sie sind also für das Beladen eines ersten gasförmigen oder flüssigen Mediums (Fluid I) mit einem zweiten Gas oder einer zweiten Flüssigkeit (Fluid II) ungeeignet, werden aber in der Technik dazu verwendet, Gase und Flüssigkeiten voneinander zu trennen.

Eine Gastrennung ist dagegen auch mit Hilfe des Reaktors nach der Erfindung möglich, dieser ist also vielseitiger verwendbar als die bekannten Reaktoren, denn es müssen keine unterschiedlich ausgebildeten, entweder für die Beladung eines ersten gasförmigen oder fluiden Mediums mit einem zweiten Gas oder Fluid oder für die Trennung zweier Flüssigkeiten oder Gase geeigneten Membranelemente verwendet werden.

Das erfindungsgemäße Verfahren in Verbindung mit der Vorrichtung ermöglicht ein effektives Beladen eines gasförmigen oder fluiden Mediums mit einem zweiten Gas oder einer zweiten Flüssigkeit in einem Reaktor. Die hohe Effizienz ist dabei im wesentlichen auf das große Oberflächen/Volumenverhältnis für das zweite Gas oder die zweite Flüssigkeit zurückzuführen. Die durch die Mikroporen von vornherein gegebene geringe Blasengröße wird zudem dadurch weiter klein gehalten, daß die Blasen aufgrund der Überströmung mit dem ersten gasförmigen oder fluiden Medium von der Oberfläche abgesichert werden. Eine ausreichende Turbulenz ergibt sich durch die besondere Anordnung der Kapillar-Hohlfasern in den einzelnen Membranelementen und -modulen.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Anreichern eines ersten gasförmigen oder flüssigen Mediums mit einem zweiten Gas oder einer Flüssigkeit in einem Reaktor, wobei

das erste gasförmige oder flüssige Medium längs einer Strömungssachse des Reaktors strömt oder fließt oder im Chargenbetrieb vorgelegt ist, dadurch gekennzeichnet, daß das zweite Gas oder Fluid durch im wesentlichen senkrecht zur Strömungssachse angeordnete und Wände mit einer mikroporösen Struktur aufweisenden Kapillar-Hohlfasern (1, 1') durch das erste gasförmige oder flüssige Medium geführt wird, wobei das zweite Gas oder die Flüssigkeit aufgrund von Gradienten in physikalischen oder chemischen Parametern, insbesondere Druck-, Temperatur- und/oder Konzentrationsdifferenzen, wegen der mikroporösen Struktur der Faserwände in das erste gasförmige oder fluide Medium eintreten kann. 5

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das zweite Gas oder die zweite Flüssigkeit in verschiedenen Richtungen und Ebenen zur und entlang der Strömungssachse des Reaktors durch das erste gasförmige oder flüssige Medium geleitet wird. 10

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß das zweite Gas oder die zweite Flüssigkeit im Gleichstrom zum ersten gasförmigen oder flüssigen Medium durch den Reaktor geführt wird. 15

4. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß das zweite Gas oder die zweite Flüssigkeit, im Gegenstrom zum ersten gasförmigen oder flüssigen Medium durch den Reaktor geführt wird. 20

5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das zweite Gas oder die zweite Flüssigkeit in den Kapillar-Hohlfasern mit verschwindender Strömungsgeschwindigkeit ansteht. 25

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Druck des zweiten Gases oder der zweiten Flüssigkeit unterhalb des Blasenentstehungsdrucks gehalten wird. 30

7. Reaktor zur Durchführung des Verfahrens nach den Ansprüchen 1 bis 6 mit einem Ein- und Ausläß für das erste gasförmige oder flüssige Medium und das zweite Gas oder die zweite Flüssigkeit aufweisenden Gehäuse (20, 30), dadurch gekennzeichnet, daß die Kapillar-Hohlfasern (1, 1') in Membranelementen (2) zusammengefaßt sind. 35

8. Reaktor nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß das Membranelement (2) mindestens eine von Kapillar-Hohlfasern (1, 1') gebildete Ebene aufweist, wobei die Kapillar-Hohlfasern (1, 1') annähernd parallel zueinander verlaufen und das Membranelement (2) senkrecht zu dieser Ebene durchströmbar ist. 40

9. Reaktor nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß das Membranelement (2) mehrere aus Kapillar-Hohlfasern (1, 1') gebildete und nacheinander angeordnete Ebenen aufweist. 45

10. Reaktor nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die jeweiligen Ebenen in dem Membranelement (2) zueinander gedreht angeordnet sind. 50

11. Reaktor nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Ebenen in dem Membranelement (2) jeweils zueinander um 90° gedreht angeordnet sind. 55

12. Reaktor nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß in dem Membranelement (2) die Kapillar-Hohlfasern (1) der einen Ebene mit den dazu 60

65

senkrecht angeordneten Kapillar-Hohlfasern (1') der benachbarten Ebene nach Art von Kette und Schuß verwoben sind. 5

13. Reaktor nach einem der Ansprüche 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Kapillar-Hohlfasern (1, 1') einer Ebene gegenüber den in gleicher Richtung verlaufenden Kapillar-Hohlfasern (1, 1') einer anderen Ebene gegeneinander versetzt sind. 10

14. Reaktor nach einem der Ansprüche 7 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß das Membranelement (2) als runder oder mehreckiger Rahmen und insbesondere als rechteckiger Rahmen (3, 4) ausgebildet ist, zwischen dessen jeweils gegenüberliegenden Seiten sich die Kapillar-Hohlfasern (1, 1') erstrecken. 15

15. Reaktor nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß das Membranelement (2) als quadratischer Rahmen (3, 4) ausgebildet und dadurch die in dem Rahmen (3, 4) gefaßten Kapillar-Hohlfasern (1, 1') jeweils gleich lang sind. 20

16. Reaktor nach Anspruch 13 oder 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Kapillar-Hohlfasern (1, 1') jeweils an den entsprechenden Seiten des Rahmens (3, 4) in separaten Einlässen bzw. Auslässen für das zweite Gas oder die zweite Flüssigkeit münden. 25

17. Reaktor nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere Membranelemente (2) zu einem Membranmodul (8) baulich zusammengefaßt sind. 30

18. Reaktor nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß die mehreren Membranelemente (2) in einem Membranmodul (8) so miteinander verbunden sind, daß der Auslaß von Kapillar-Hohlfasern eines Membranelements (2) jeweils mit dem Einlaß von Kapillar-Hohlfasern eines nachfolgenden Membranelements (2) zusammengeschaltet sind, so daß das zweite Gas oder die zweite Flüssigkeit in einem Membranelement (2) mit entgegengesetzter Strömungsrichtung zu dem vorhergehenden Membranelement (2) geführt wird. 35

19. Reaktor nach Anspruch 17 oder 18, dadurch gekennzeichnet, daß das Membranmodul (8) im wesentlichen aus einem aus vier zwischen einer rahmenförmigen Bodenplatte (12) und einem rahmenförmigen Deckel (16) angeordneten Eckstützen (13 bzw. 14) gebildeten Käfig (19) besteht, in welchem mehrere Membranelemente (2) übereinander gestapelt sind. 40

20. Reaktor nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen den einzelnen Membranelementen (2) unterschiedlich dicke Distanzstücke (9 bzw. 10) angeordnet sind. 45

21. Reaktor nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen den Eckstützen (13 bzw. 14) mittig zusätzliche Stützen (15) vorgesehen sind. 50

22. Reaktor nach Anspruch 17 oder 18, dadurch gekennzeichnet, daß die Membranelemente (2) wie auch die Distanzstücke (9 bzw. 10) in den winkligen Innenseiten der Eckstützen (13) dicht anliegen. 55

23. Reaktor nach Anspruch 17 oder 18, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens zwei sich diametral gegenüberliegende Eckstützen (13) im Unterschied zu den beiden anderen sich diametral gegenüberliegenden Eckstützen (14) nach außen weisende Vorsprünge (17) aufweisen, die zur dichten Befestigung auf der Innenseite des Gehäuses (20, 30) des Reaktors bestimmt sind. 60

24. Reaktor nach Anspruch 23, dadurch gekenn- 65

zeichnet, daß das Gehäuse (20, 30) des Reaktors symmetrisch zur Strömungssachse zylindrisch ausgebildet ist und die Eckstützen (13) mit ihren Vorsprüngen (17), mit welchen sie an der Innenwand des Gehäuses (20, 30) befestigt sind, den Reaktorinnenraum in voneinander getrennte Räume unterteilt, durch welche das zweite Gas oder Fluid vor dem Eindringen in die Kapillar-Hohlfasern (1, 1') bzw. nach dem Verlassen dieser Kapillar-Hohlfasern (1, 1') strömt. 5

25. Reaktor nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere solcher Membranmodule (8) übereinander in dem Innenraum des Reaktors angeordnet und dicht miteinander verbunden sind. 10

26. Reaktor nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, daß jedes Membranmodul (8) einen vollständigen Abschnitt des Reaktors bildet, dergestalt, daß jeder Abschnitt einen Teil des Gehäuses des Reaktors umfaßt, der auf seiner Unter- und Oberseite mit je einer Abdeckplatte (28) versehen ist, 15 welche Durchlässe (29) zur Durchführung des zweiten Gases oder Fluids von einem Abschnitt zum anderen aufweisen. 20

27. Reaktor nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, daß er aus einer Mehrzahl solcher Abschnitte zusammengesetzt ist, welche eine Modulkaskade bilden. 25

28. Reaktor nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, daß die Ein- und Auslässe jedes Modulelementes (2) miteinander verbunden sind, so daß gleiche Druckgradienten in allen Kapillar-Hohlfasern vorliegen. 30

29. Anwendung eines Reaktors nach Anspruch 7—28 zum Trennen von Gasen und/oder Flüssigkeiten. 35

Hierzu 7 Seite(n) Zeichnungen

40

45

50

55

60

65

THIS PAGE BLANK (USPTO)

- Leerseite -

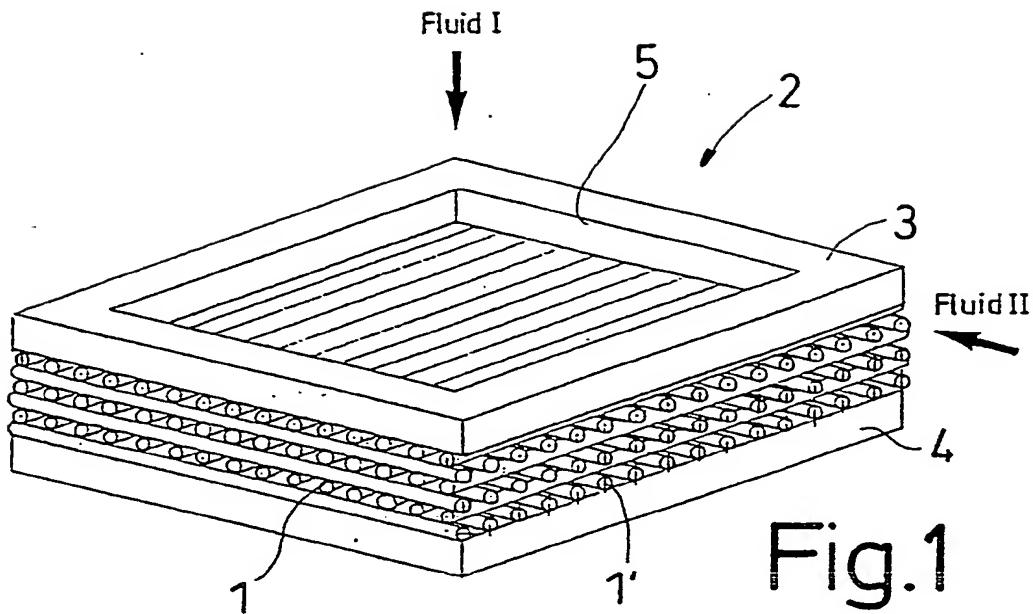


Fig. 1

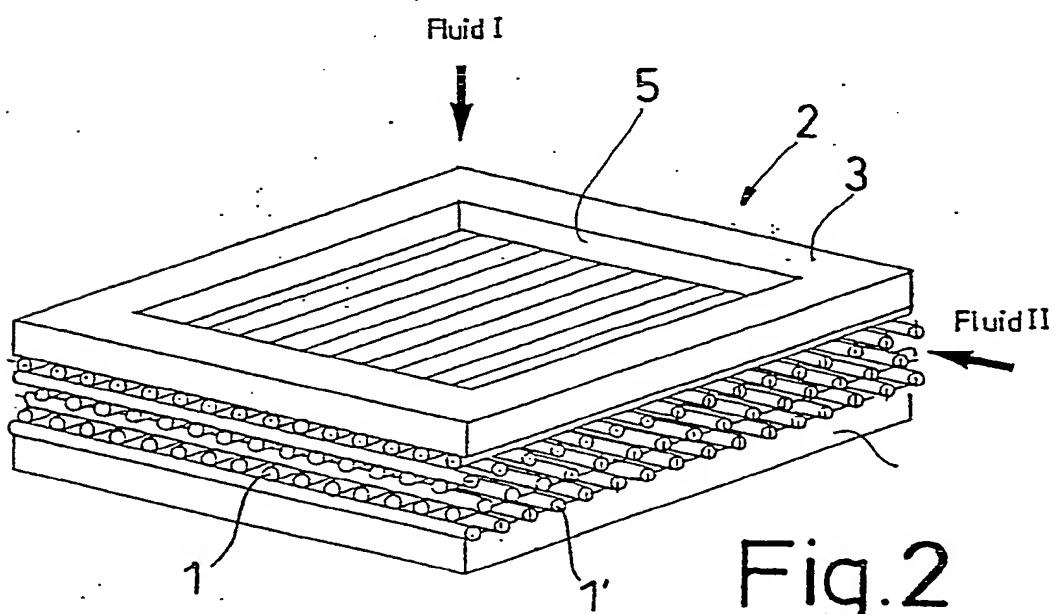


Fig. 2

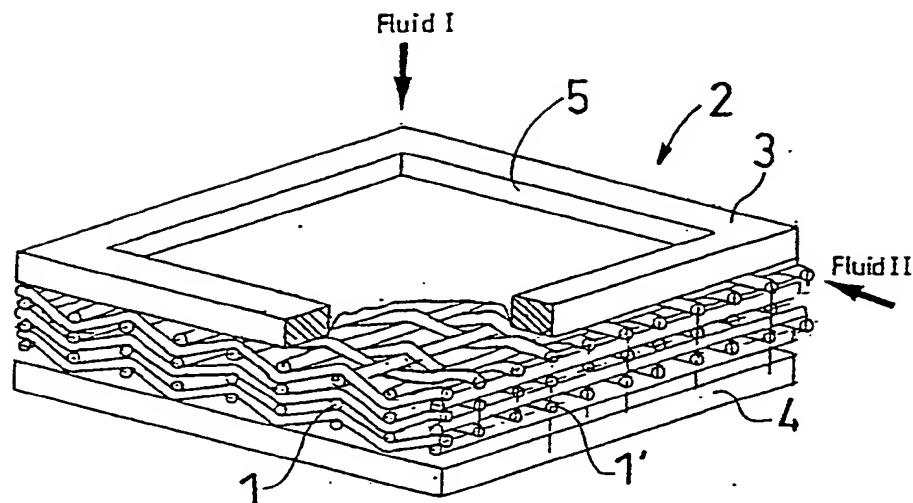


Fig.3

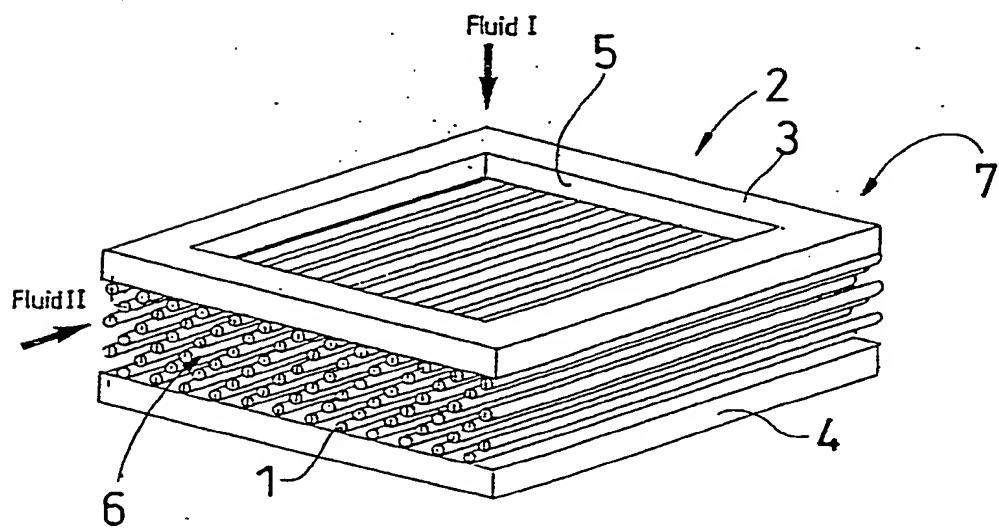


Fig.4

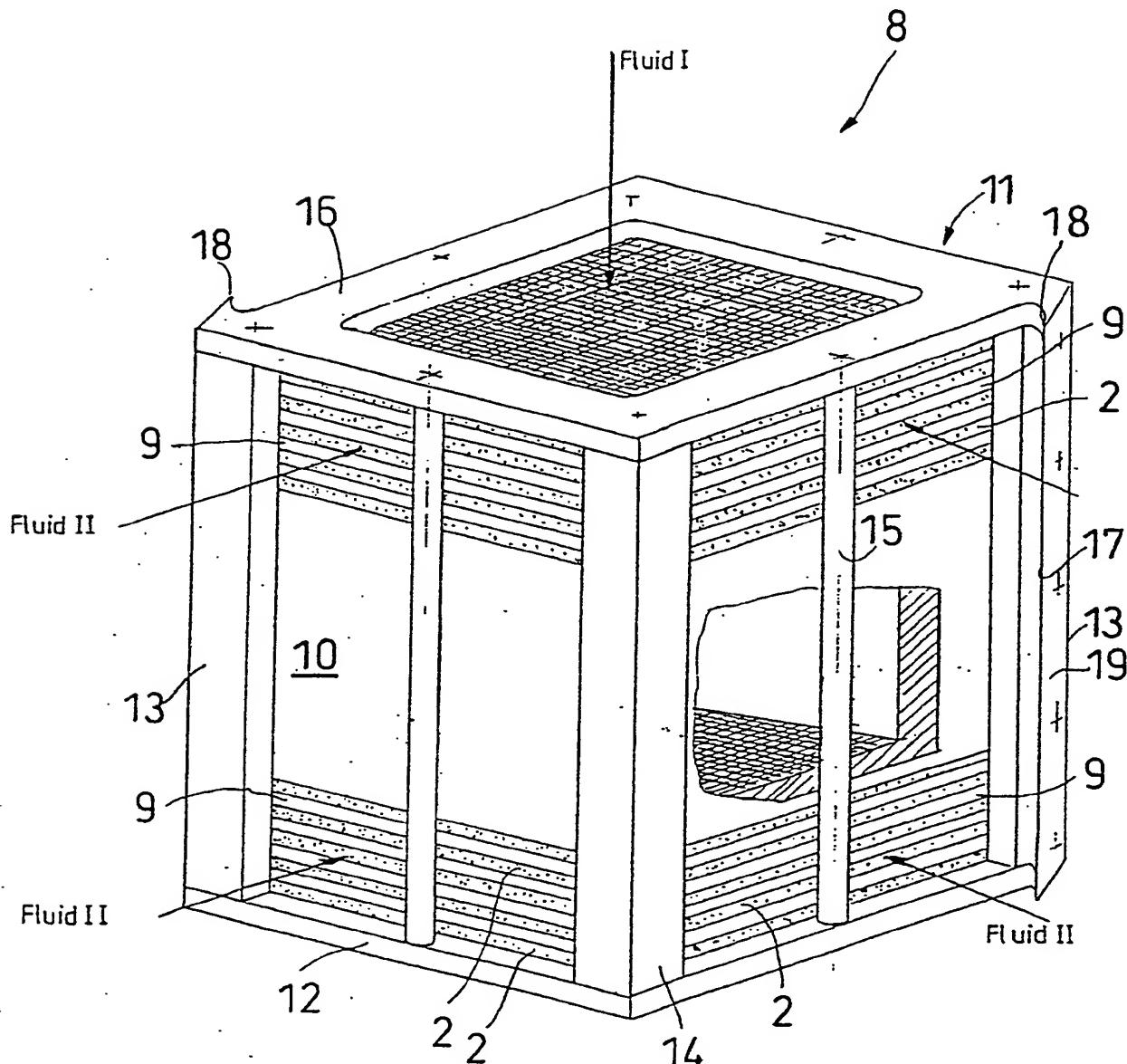


Fig.5

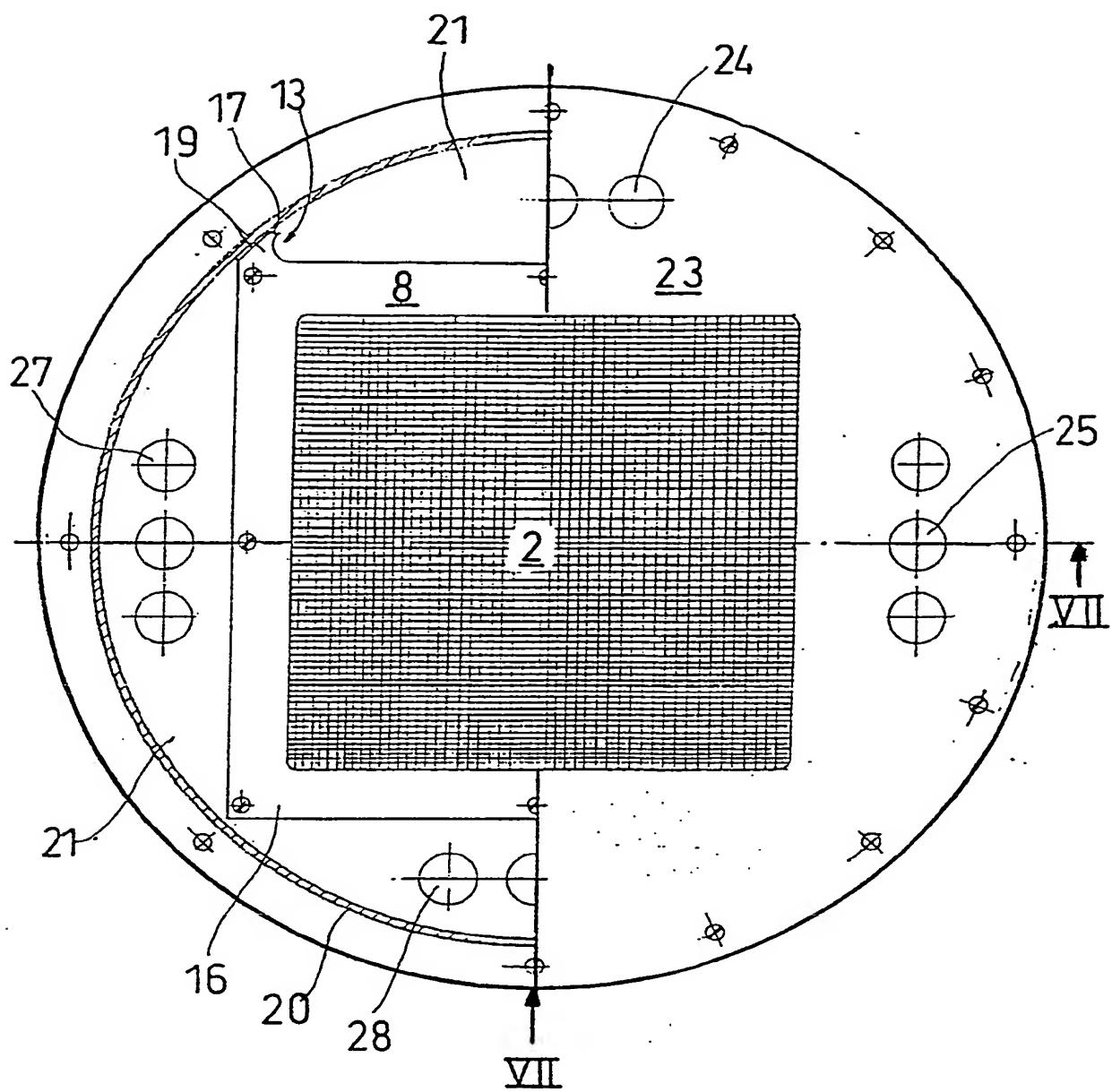


Fig. 6

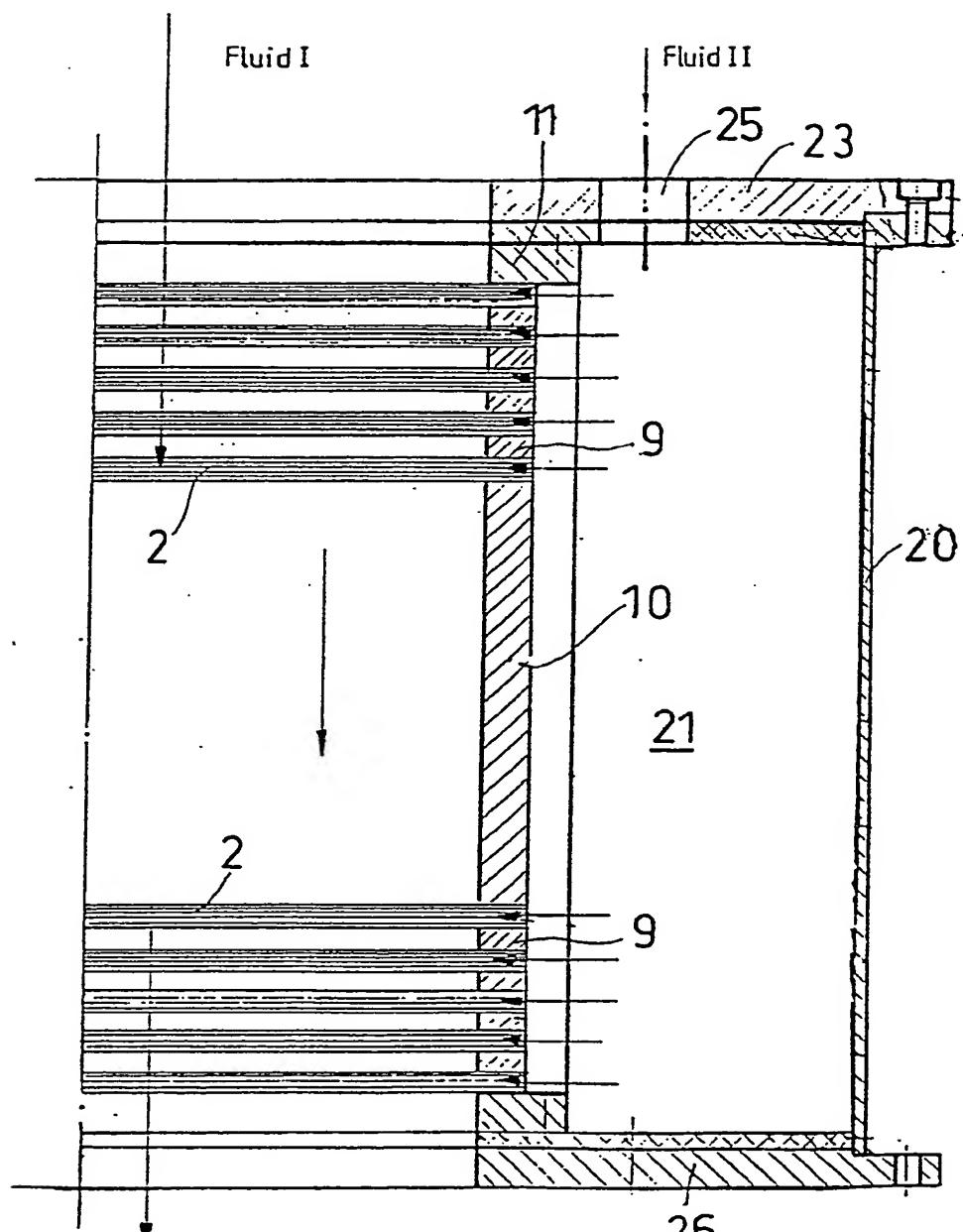


Fig. 7

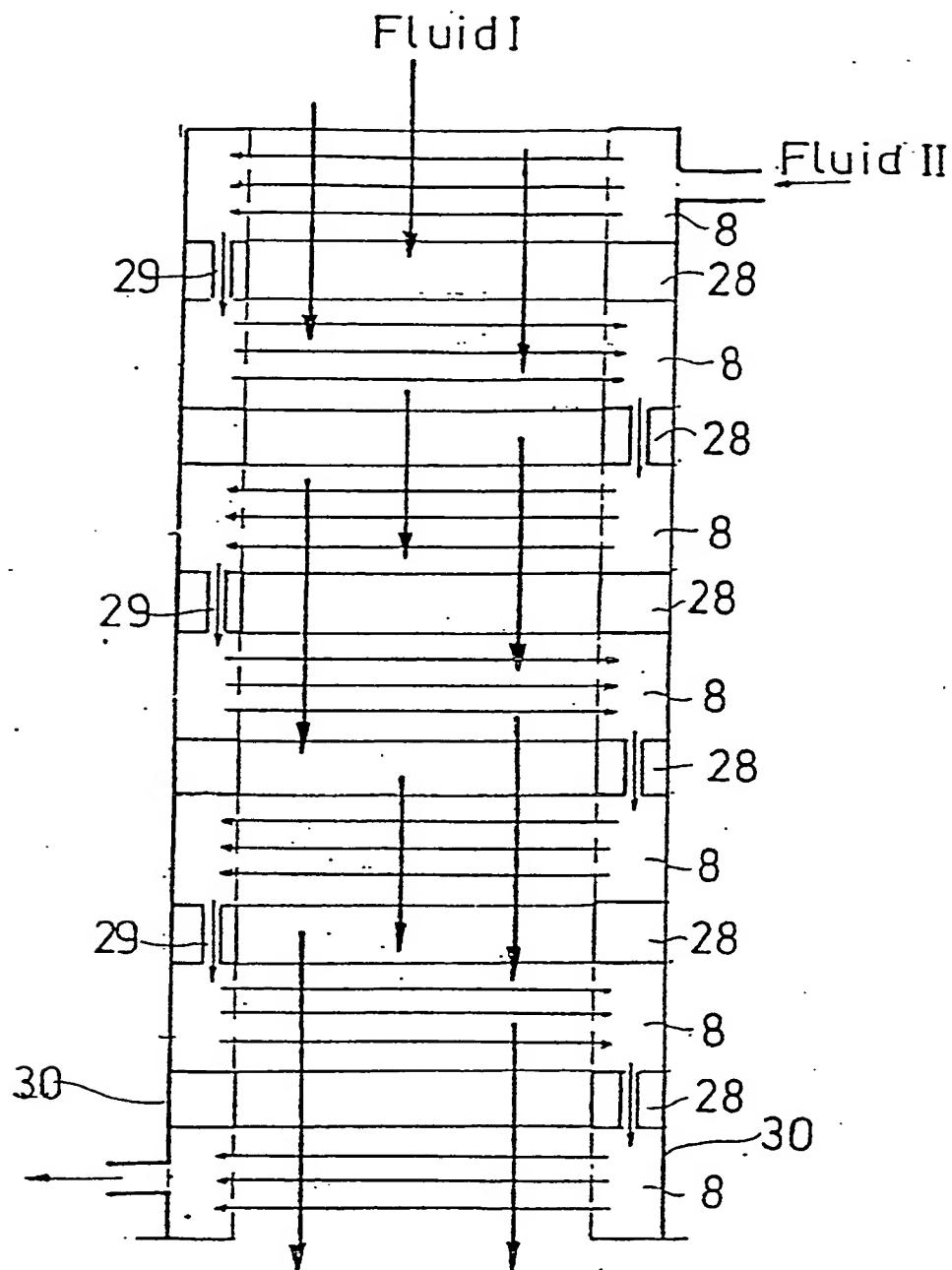


Fig. 8

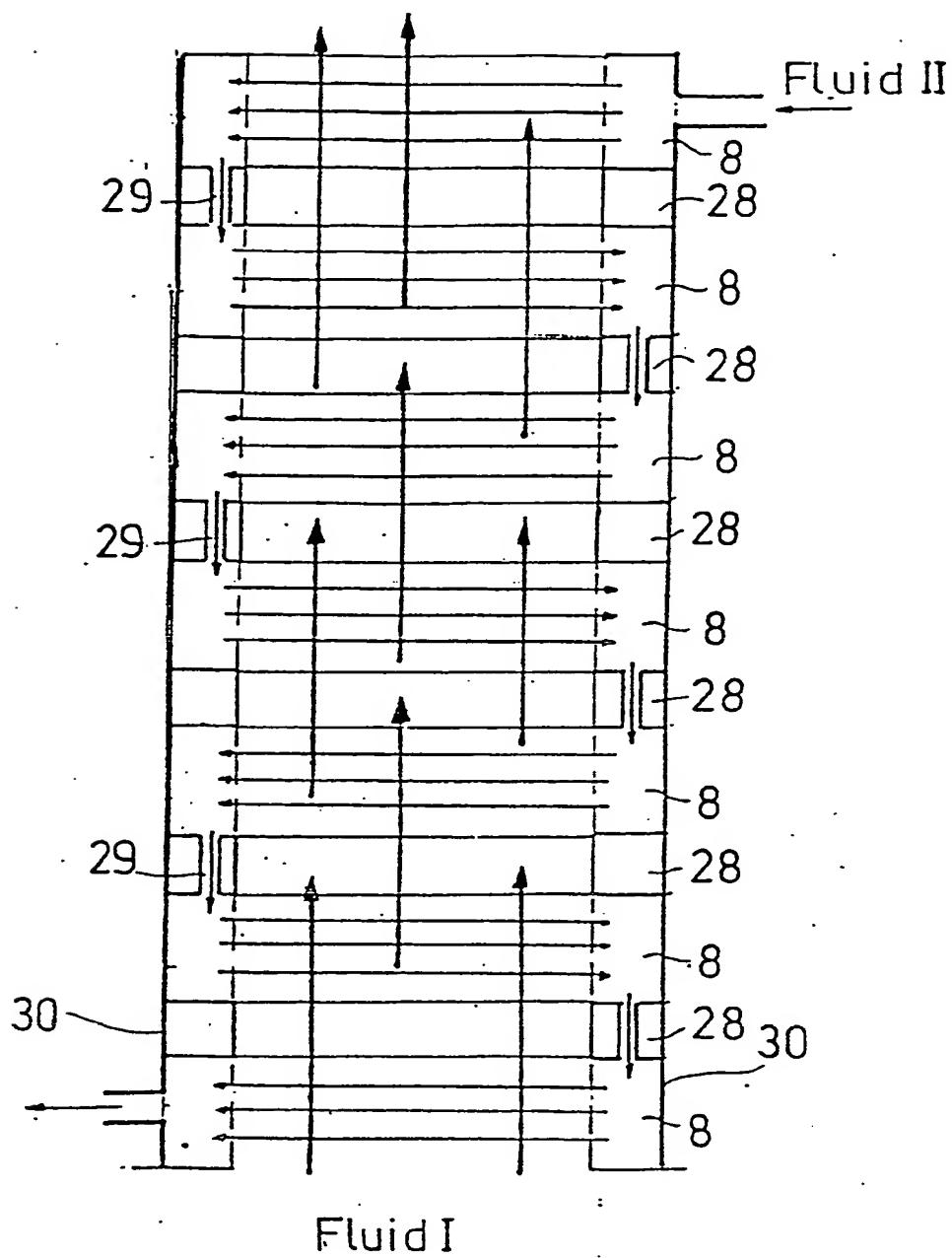


Fig. 9

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.